

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут телекомунікаційних систем

Кафедра Телекомунікаційних систем

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Л.О. Уривський

«__» _____ 20__ р.

Дипломна робота

**на здобуття ступеня бакалавра
з напрямку підготовки 6.050903 Телекомунікації
(172 Телекомунікації та радіотехніка)**

на тему: «Сенсорні мережі відомчого призначення»

Виконав:

студент IV курсу, групи ТС-51

Гоголю Олександр Петрович _____

Керівник:

Старший викладач кафедри ТС,

Вакуленко Олександр Володимирович _____

Рецензент:

Посада, науковий ступінь, вчене звання,

Прізвище, ініціали _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра Телекомунікаційних систем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки – 6.050903 «Телекомунікації» (172 Телекомунікації та радіотехніка)

Програма професійного спрямування – «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Л.О. Уривський

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу студенту
Гогу Олександр Петровичу

1. Тема роботи **«Сенсорні мережі відомчого призначення»**, керівник роботи Вакуленко Олександр Володимирович, старший викладач кафедри ТС, затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом роботи 10 червня 2019 року
3. Вихідні дані до роботи: сенсорні мережі, сенсорні мережі відомчого призначення
4. Зміст роботи:
 - аналіз застосування сенсорних мереж; - принципи побудови сенсорних мереж; - застосування сенсорних мереж; - методика вибору раціонального варіанту побудови сенсорної мережі відомчого призначення.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо)

6. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз отриманого завдання		
2.	Постановка мети дипломної роботи та розробка пунктів змісту		
3.	Написання та оформлення вступної частини пояснювальної записки		
4.	Написання та оформлення першого розділу пояснювальної записки		
5.	Написання та оформлення другого розділу пояснювальної записки		
6.	Написання та оформлення третього розділу пояснювальної записки		
7.	Написання та оформлення четвертого розділу пояснювальної записки		
8.	Оформлення дипломного проекту		
9.	Чистовий варіант дипломної роботи, плакати		

Студент

Гогу О.П

Керівник роботи

Вакуленко О.В.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка викладена на 65 сторінках та включає 18 ілюстрацій, 1 таблицю та 38 джерел за переліком посилань.

Метою роботи є дослідження сенсорних мереж, та їх використання для відомчого призначення.

В даній роботі розглядаються сенсорні мережі різних типів, їх класифікація та призначення, принципи їх побудови, та її окремих елементів, основні визначення, технології і стандарти які використовуються при побудові, виникнення можливих проблем при побудові подібної мережі, режими роботи та програмне забезпечення.

Ідея використовувати бездротову технологію передачі даних в різних системах збору інформації та управління є дуже привабливою через свою низьку вартість і високу надійність. Проведено комплексний аналіз технічних характеристик програмного забезпечення і можливостей обладнання для побудови сенсорних мереж відомчого призначення.

СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ, СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ ВІДОМЧОГО
ПРИЗНАЧЕННЯ, ПОНЯТТЯ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

ABSTRACT

The purpose of the work is to study the sensory wireless networks, and their use for departmental purposes.

In this paper we consider sensor networks of different types, their classification and purpose, the principles of their construction, and its individual elements, basic definitions, technologies and standards used in construction, the emergence of possible problems in the construction of such a network, operating modes and software.

The idea of using wireless data transmission technology in various information gathering and management systems is very attractive because of its low cost and high reliability. Complex analysis of technical characteristics of software and capabilities of equipment for construction of sensor networks of departmental appointment is carried out.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП	10
1 АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ.....	11
1.1 Історія розвитку сенсорних мереж.....	12
1.2 Сучасні сенсорні мережі	13
1.3 Висновки з розділу 1.....	16
2 ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ	17
2.1 Поняття сенсорних мереж.....	19
2.2 Вузли бездротової сенсорної мережі	22
2.3 Технології бездротової передачі даних в БСМ.....	28
2.4 Протоколи маршрутизації в сенсорних мережах	38
2.5 Кластеризація в БСМ.....	47
2.6 Висновки з розділу 2.....	49
3 ЗАСТОСУВАННЯ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ.....	50
3.1 Бездротові системи охоронно-пожежної сигналізації з використанням технологій ZigBee і GSM.....	51
3.2 Структура бездротових систем охоронно-пожежної сигналізації.....	53
3.3 Висновки з розділу 3.....	55
4 МЕТОДИКА ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОГО ВАРІАНТУ ПОБУДОВИ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ ВІДОМЧОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....	56
4.1 Висновки з розділу 4.....	59

					НТУУ1106-с.05.ТС-51.2019.ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Сенсорні мережі відомчого призначення Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Гогу О.П.						
Перевір.		Вакуленко О.В.					6	65
Реценз.		Явіся В.С.				ІТС		
Н. Контр.		Новіков В.І.						
Затверд.		Уривський Л. О.						

ВИСНОВКИ..... 60

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ: 62

					НТУУ1106-с.05.ТС-51.2019.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЦП	Аналого-цифровий перетворювач
БС	Базова станція
БСМ	Безпроводна сенсорна мережа
БСОПС	Бездротова система охоронно-пожежної сигналізації
ІЧ	Інфрачервоний порт
ПКМ	Приймально-контрольний модуль
ТмЗК	Телефонна мережа загального користування
AFH	Adaptive Frequency hopping - адаптивна зміна частоти
CH	Cluster Head - головний вузол кластера
CM	Cluster Members - вузол нижчого рангу
CSMA-CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance – множинний доступ із упізнаванням несучої й усуненням колізій
DSL	Digital subscriber line – цифрова абонентська лінія
EDR	Enhanced Data Rate - покращена швидкість передачі даних
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory - постійний запам'ятовувальний пристрій, що програмується та очищується
FFD	Fully Function Device – пристрій з повним набором функцій
GSM	Global System for Mobile Communications - глобальна система мобільного зв'язку
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers - інститут інженерів з електротехніки та електроніки
LCD	liquid crystal display - рідкокристалічний дисплей
MCU	Microcontroller Unit – мікроконтролер
MAC	Media Access Control – управління доступом до носія
MIMO	Multiple Input Multiple Output - багато входів, багато виходів

OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing - мультиплексування з ортогональним частотним поділом
OS	Operating System - операційна система
QoS	Quality of Service - якість обслуговування
RFD	Reduced Function Device – пристрій з обмеженим набором функцій
SIG	Special Interest Group – Група спеціальних інтересів
SRAM	Static Random Access Memory - статична оперативна пам'ять з довільним доступом
TTL	Time to Live – час життя
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Network - бездротова локальна мережа.
WPAN	Wireless personal area network – бездротова персональна мережа

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сьогодення вимагає від системи зв'язку безперебійного обміну інформацією, своєчасної передачі наказів, розпоряджень, чим вона забезпечить якісне та безперебійне управління. Для цього засоби зв'язку, які використовуються повинні відповідати вимогам нашого часу.

Прикладом цього може слугувати розгортання сенсорної мережі для вирішення відповідних завдань. Мережа має хороші можливості по розпізнаванню різних металевих об'єктів, у тому числі рухомих. Застосування сенсорної мережі дозволяє виявляти розташування людей на підконтрольній території, відстежування їх переміщення, моніторинг екології, погоди, обстановки, а головне сприяє запобіганню втрат серед особистого складу під час вирішення відповідних завдань використовуються різні сенсорні датчики. З вдосконаленням технологій потреба в бездротових сенсорних мережах тільки зростає.

Метою даної кваліфікаційної роботи являється проведення аналізу сучасних сенсорних мереж і дослідження їх принципів побудови та застосування, а також розробка методики вибору раціонального варіанту побудови сенсорної мережі відомчого призначення.

1 АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

Протягом всієї історії розвитку людства простежується чітка тенденція – зробити навколишнє середовище комфортніше і безпечніше.

Щоб цього домогтися, у багатьох областях життєдіяльності потрібно рішення задач по збору даних, що надходять від великої кількості датчиків, для забезпечення реакції на виявлення і / або фіксування події. Наприклад, для створення комфортних умов в квартирі або офісі необхідно фіксувати присутність людини, контролювати температуру, вологість повітря, вміст кисню, освітленість і, оперуючи цими даними, змінювати потужність обігрівача, вмикати / вимикати освітлення, регулювати його інтенсивність, управляти зволожувачем повітря і т. д.

Щоб цей і подібні йому процеси відбувалися автоматично, необхідно забезпечити обмін інформацією між усіма задіяними пристроями. Для цього потрібно створити єдину мережу датчиків (чутливих елементів, сенсорів) і виконавчих пристроїв, найчастіше довільним чином розосереджених у просторі. Очевидно, що традиційна дротова мережа може бути використана для вирішення тільки вузького кола подібних завдань в обмеженому просторі. Наприклад, для інтелектуалізації дворових територій з мінливою обстановкою вона практично неприйнятна в силу очевидних причин: така мережа буде дуже витратною, енергоємною, зажадає трудомісткого обслуговування, стане мало придатною для мініатюризації і матиме зафіксовану на стадії проектування і монтажу топологію.

Бездротова мережа дозволяє зняти ці обмеження. Таким чином, в кінці XX століття К. Пістером (Kristofer Pister), професором електромеханіки з каліфорнійського університету Берклі, США була сформульована концепція «розумного пилу» (smart dust) - системи, що складається з довільної кінцевої безлічі електромеханічних пилинок або мотів (від англ. mote), здатних обмінюватися інформацією в довільній просторовій конфігурації.

Втілення цієї концепції на практиці призвело в подальшому до появи

бездротових сенсорних мереж (БСМ), які часто називають просто сенсорними мережами.

1.1 Історія розвитку сенсорних мереж

Питання створення бездротових сенсорних мереж є порівняно новим і поки ще формується комплексним дослідницько-технологічним напрямом. Як і для будь-якого іншого комплексного напрямку науково-технічного прогресу в основі створення БСМ лежить кілька передумов. Деякі з них згадані спочатку розділу. Це - концепції «розумного пилу» (Smart dust), «Інтернету речей» (Internet of Things), сюди ж можна віднести питання створення бездротових персональних обчислювальних мереж (WPAN - Wireless Personal Network), систем радіочастотної ідентифікації (RFID - Radio Frequency IDentification) , мікроелектромеханічних систем (MEMS - Micro-Electro-Mechanical Systems).

Прототипами сучасних БСМ можна вважати також деякі розподілені військово-технічні системи, створені в 1970-1980 роках, наприклад, систему СОСУС (SOSUS - SOund SUrveillance System). Ця глобальна система звукового спостереження призначалася для виявлення та ідентифікації радянських підводних човнів і поряд зі стаціонарними підсистемами включала в себе гідроакустичні буї, які скидували в районі пошуку з протичовнових вертольотів НАТО і передавали дані спостережень в центр обробки інформації по радіоканалах.

Своєрідним рубежем в історії створення БСМ став 2003 рік, коли була опублікована перша версія стандарту IEEE 802.15.4. Тому історію БСМ можна розбити на два великі етапи:

перший – до появи першої версії стандарту IEEE 802.15.4;

другий – реалізація і модифікація стандарту IEEE 802.15.4 і бездротових систем на його основі.

1.2 Сучасні сенсорні мережі

Для якісної класифікації сенсорних мереж, необхідно виокремити кілька ключових ознак. Такі, як: середовище передачі даних, мобільність, організація передачі даних, середовище моніторингу, параметри моніторингу, сфера застосування (рисунк 1.1). За принципом мобільності розрізняють: стаціонарні, рухомі (мобільні) сенсорні мережі.

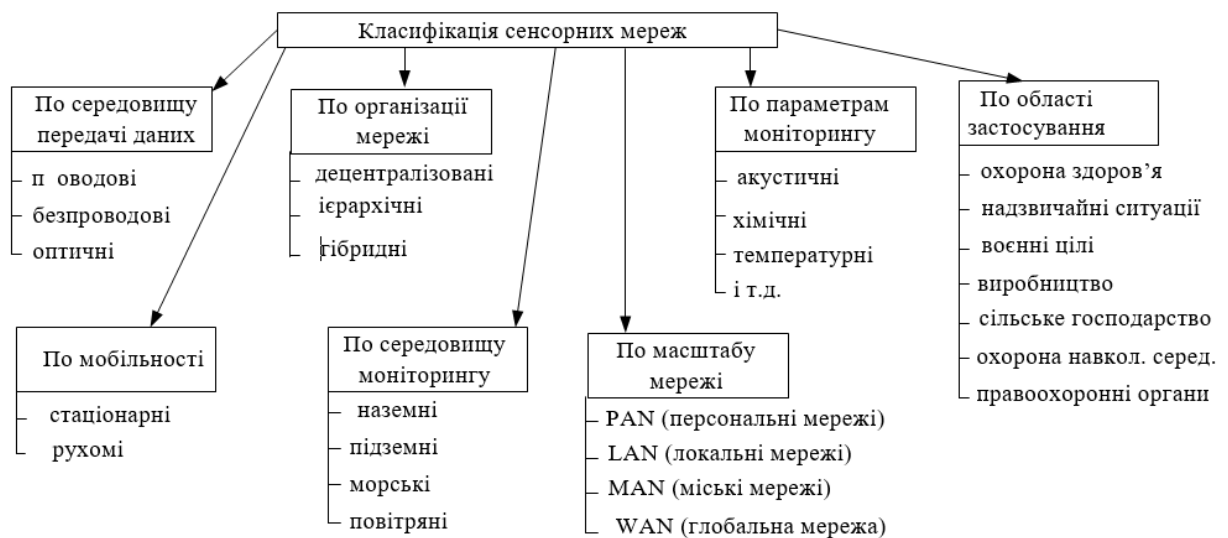


Рисунок 1.1 Класифікація сенсорних мереж

Ключовий вибір такої мережі залежить напряму від сфери використання.

Як приклад, можна навести стаціонарну сенсорну мережу - «Розумний будинок». Передачі даних в такій мережі здійснюється через окрему, виділену мережу до центру обробки даних (ЦОД). За основу може братися і вже наявна телекомунікаційна мережа, або ж ТмЗК, або мережа електроживлення чи бездротова мережа.

На даний момент, сенсорні мережі поки починають отримувати свою сферу використання в цивільній життєдіяльності. Включають моніторинг навколишнього середовища, охорону здоров'я, контроль руху об'єктів у просторі та багато ін..

Можливість розгортання мережі в складних умовах, відсутність

провідних комунікацій і мінімальні розміри сенсорних пристроїв роблять технологію сенсорних мереж надзвичайно гнучкою і практичною. Звичайно – привабливою для більш глобального впровадження.

Ці фактори є визначальними при виборі способу побудови нової мережі, або розгортання конвергенції мереж з урахуванням сенсорних технологій над реальною. Маючи велику кількість з'єднаних між собою інтелектуальних датчиків і інтерфейсів передачі даних, дана технологія стійка у налагодженні і має підвищені експлуатаційні параметри, що дозволяють виокремити сенсорні мережі в якості високоефективних і перспективних рішень для систем збору телеметричних даних, засобів дистанційної діагностики та обміну інформації.

Управління сенсорною мережею здійснюється за допомогою шлюзу, що може бути встановлений між ключовими компонентами мережі. Модулі системи управління, отримують, обробляють і зберігають інформацію в базі даних, а в разі необхідності реагують на події у відповідності із параметрами алгоритму дій, що записується в бази даних систем управління сенсорними мережами. Наприклад, при загорянні контрольованих об'єктів від сенсорів надходить сигнал тривоги, за яким відповідний модуль управління включає місцеву систему оповіщення і посиляє спеціальний сигнал тривоги в пожежну частину [1].

Важливо зазначити, що всі дані передаються порівняно невеликими пакетами. Це характеризує саме для трафіку сигналів управління і моніторингу в сенсорних мережах. Ще однією важливою особливістю стандарту є обов'язкове отримання підтвердження про успішну доставку повідомлень.

Згідно із розробленими до даного стандарту офіційними документами, стандарт IEEE 802.15.4 повинен забезпечити узгоджену дальність з'єднання, більшу у порівнянні із стандартом Wi-Fi. При цьому енергоспоживання повинне бути значно менше за рахунок низької швидкості передачі даних. Також повинна бути забезпечена робота усіх

основних компонентів мережі в режимі реального часу і з використанням тимчасових слотів.

Особливістю даного стандарту 802.15.4 є ще те, що була прописана особлива робота двох рівнів моделі OSI (фізичний і канальний). Із цілого сонму усіх можливих функцій та алгоритмів, які виконує кожен рівень моделі, фізичний рівень відповідає за спосіб передачі даних в сенсорній мережі, також за організацію зв'язку і підбір необхідних для підтримки з'єднання апаратних параметрів. Додатково, фізичний рівень виконує функції управління та функції роботи трансивера, обирає канали, сигнали управління та слідує за рівнем потужності в момент передачі.

Відносно канального рівня, стандарт IEEE 802.15.4 визначив механізми логічної, структурної взаємодії елементів мережі на фізичному рівні для забезпечення формування фрагментів даних, відомих під назвою кадри, перевірки та виправлення ймовірних помилок, і можливість відправки створюваних кадрів на мережевий рівень. При цьому протокол MAC (media access control) канального рівня здійснює урегулювання множинного доступу до фізичного середовища з поділом за часом, керує зв'язками трасиверів і забезпечує здійснення контролю за безпекою сенсорної мережі.

Є два принципово різних типи мереж зв'язку. Перший будується на підтримуючій фізичній інфраструктурі, яка надає необхідні послуги для спілкування клієнтів, наприклад, маршрутизація. Цей клас включає такі мережі, як традиційна телефонна система (ТмЗК), мережа мобільного зв'язку, Інтернет, поштова система та телевізійна система (яка є односторонньою) [2]. Тут операція мережі бере на себе цільові організації, які чітко відділені від клієнтів мережі, які використовують термінальні пристрої для використання послуг мережі. В основі сенсорної мережі, що базується на цій парадигмі, використовуються базові станції, які пропонують інфраструктуру для вузлів сенсорів для використання.

Базова станція - це пристрій, обладнаний більшою кількістю ресурсів

та більшим радіодіапазоном, ніж звичайний вузол датчиків. Кожний вузол зазвичай має прямий зв'язок з базовою станцією і виключно спілкується з цією базовою станцією [3]. Пряме спілкування між вузлами не відбувається. Можливим винятком є ретрансляція повідомлень від імені вузлів, які, за винятком діапазону базової станції. Для мінімізації кількості базових станцій при досягненні повного охоплення потрібне ретельне планування всієї сенсорної мережі.

Другий тип мережі працює повністю без підтримки інфраструктури. Немає виділених пристроїв або установок, які підтримують клієнтів мережі. Натомість всі послуги надаються самим клієнтом за рівним рівнем доступу. Співпраця між клієнтами необхідна для забезпечення справедливого використання ресурсів один одного [4]. Приклади таких мереж – накладені однорангові мережі, бездротові спеціальні мережі та радіолюбительські радіостанції. Сенсорні мережі, засновані на цій парадигмі, простіші для налаштування, ніж для попереднього типу.

1.3 Висновки з розділу 1

У даній статті розглянуто основні відомості про сенсорні мережі, та головні складові – сенсорні датчики. Приведений аналіз основних сфер використання сенсорних датчиків, а також – їх класифікація.

Також здійснено аналіз сучасного стану даного класу мереж, мета яких організація зв'язку та передача (ретрансляція) повідомлень в середовищах несприйнятливих для перебування людини, при умовах загрози життя. Кращим варіантом застосування сенсорних мереж являються бездротові сенсорні мережі (БСМ), які будуть розглядатись в наступних розділах.

2 ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

Бездротові сенсорні мережі (БСМ) представляють собою самоорганізовувані мережі, що складаються з безлічі бездротових сенсорних вузлів, розподілених в просторі і призначених для моніторингу характеристик навколишнього середовища та управління об'єктами, розташованими в ній [5]. Простір, який покривається сенсорної мережею, називають сенсорним полем. Бездротові сенсорні вузли це мініатюрні пристрої з обмеженими ресурсами: зарядом батареї, об'ємом пам'яті, обчислювальними можливостями і т.п. [6]. Самоорганізовуваною мережею називається така мережа, число вузлів в якій є випадковою величиною в кожен момент часу, змінюючись в межах від 0 до деякого значення N_{\max} . Зв'язки, що виникають між вузлами в таких мережах, також випадкові у часі тому утворюються для досягнення будь-якої мети або передачі даних в мережу зв'язку загального користування або в інші типи мереж.

Бездротова сенсорна мережа необхідна в першу чергу в таких областях, де взагалі неможлива прокладка кабелів з технічних, економічних або організаційних причин.

Переваги бездротових сенсорних мереж:

- здатність до самовідновлення та самоорганізації;
- здатність передавати інформацію на значні відстані, від декількох метрів до декількох кілометрів, при малій потужності передавачів (шляхом ретрансляції повідомлень);
- низька вартість вузлів і їх мініатюрний розмір;
- низьке енергоспоживання і можливість електроживлення від автономних джерел;
- простота установки, відсутність необхідності в прокладанні кабелів (завдяки бездротовій технології і живленню від батарей);
- можливість установки таких мереж на вже існуючий і експлуатується об'єкт без проведення додаткових робіт;

- низька вартість технічного обслуговування.

Компоненти бездротової сенсорної мережі

Сенсори-джерела даних в сенсорній мережі; служать посередником між фізичними процесами, що відбуваються в навколишньому середовищі і поданням цих процесів в цифровому вигляді показань сенсорів.

Сток є накопичувачем даних. Це спеціалізований тип компонента мережі, які отримує дані від сенсорів і займається агрегуванням. Від розташування стоку, в більшій мірі, залежать основні параметри сенсорної мережі, такі як витрата енергії мережі, час її життя, кількість непрацездатних вузлів.

При передачі даних базової станції, може бути задіяна різна кількість вузлів. Визначенням маршруту передачі даних займається протокол, на основі якого працює сенсорна мережа. Аналогічний підхід використовується для маршрутизації в комп'ютерних мережах.

Зараз, найбільша частина досліджень в області сенсорних мереж спрямована на розробку протоколів, які зможуть вибирати маршрути передачі даних, оптимальні по енергоспоживанню, часу життя і іншим критеріям, необхідним для конкретного завдання.

Сенсорні мережі за типом архітектури можна розділити на:

- шарувату архітектуру;
- кластерну архітектуру;
- сенсорні вузли з мобільним стоком;

Загальний принцип роботи бездротової сенсорної мережі схожий з алгоритмом роботи локальної мережі. Сток або базова станція розсилає всій мережі широкомовний (англ., broadcast) пакет. Кожен вузол додає адресу, від якого отримано широкомовне повідомлення, в свою таблицю маршрутизації. Також в таблицю додаються поля ID, рівень заряду акумулятора, число проміжних вузлів (хопів) [7]. Важливим параметром, який вузли передають своїм сусідам, є рівень заряду акумулятора, оскільки від цього значення залежить балансування енергії всієї мережі. Кожен вузол

широкомовно передає інформацію про заряд акумулятора своїм сусідам. Таким чином, всі вузли знають про кількість хопів і витрату енергії своїх сусідів.

Сток займається оновленням таблиць вузлів за допомогою повторної широкомовної розсилки, при додаванні або зникнення елементів мережі.

На сьогоднішній день вузли бездротових сенсорних мереж використовуються тільки для збору даних про навколишнє середовище і передачі їх на централізований обчислювальний пристрій, який займається обробкою цих даних.

Існують готові інтелектуальні системи на базі бездротових сенсорних мереж, такі як: система технологічного обліку електроенергії, система управління центральним тепловим пунктом, система технологічного обліку водопостачання, система охорони праці на шкідливому виробництві та інші системи, які контролюють діяльність підприємств.

Бездротова сенсорна мережа для промислового моніторингу будується на основі вузлів передачі даних, які можуть бути підключені до датчиків, що вимірюють різні типи показників. Вузли передачі даних отримують показники від датчиків і відправляють їх в централізовану систему для подальшої обробки, тобто є проміжною ланкою між даними, які відображають стан навколишнього середовища і централізованою системою, яка цей стан може змінити, наприклад, підвищити температуру в приміщенні. У стандартний набір компонентів мережі входять: координатор, сервер, вузол передачі даних.

2.1 Поняття сенсорних мереж

Визначимо основні поняття сенсорних мереж.

Сенсор (англ., sensor) – пристрій, який сприймає контрольований вплив (світло, тиск, температуру і т. д.), вимірює його кількісні та якісні

характеристики і перетворює дані вимірювання в сигнал. Сигнал може бути електричний, хімічний або іншого типу.

Датчик (англ., transducer) – пристрій, який використовується для перетворення одного виду енергії в інший. Отже, сенсор також є датчиком, який перетворює фізичну інформацію в електричну, яка може бути передана обчислювальній системі чи контролеру для обробки.

Актuator (англ., actuator) – виконавчий пристрій, що реагує на сигнал який надійшов для зміни стану керованого об'єкта. В актуаторі відбувається перетворення типів енергії, наприклад, електрична енергія, або енергія стисненого (розрідженого) повітря (рідини, твердого тіла) перетворюється в механічну.

Сенсорний вузол (англ., Sensornode) – це пристрій, який складається, принаймні, з одного сенсора (може також включати один або декілька актуаторів), і має обчислювальні і дротові або бездротові мережеві можливості.

Сенсорна мережа – система розподілених сенсорних вузлів, взаємодіючих між собою, а також з іншими мережами для запитів, обробки, передачі та надання інформації, отриманої від об'єктів реального фізичного світу з метою вироблення відповідної реакції на цю інформацію. Таким чином, сенсорна мережа включає в себе як мінімум сенсори, актуатори і комунікаційні вузли. Основною областю застосування сенсорної мережі є контроль і моніторинг вимірюваних параметрів фізичного середовища і об'єктів та в деяких випадках - управління цими об'єктами (активація в них певних процесів).

Приклади сенсорних мереж:

- всепроникні сенсорні мережі (USN- Ubiquitous Sensor Network),
- мережі для транспортних засобів (VANET- Vehicular Ad Hoc Network),
- муніципальні мережі (HANET - Home Ad hoc Network),
- медичні мережі (MBAN (S) - Medicine Body Area Network (services))

та ін.

Основні дії, що виконуються при роботі сенсорних мереж, представлені на рисунку 2.1.

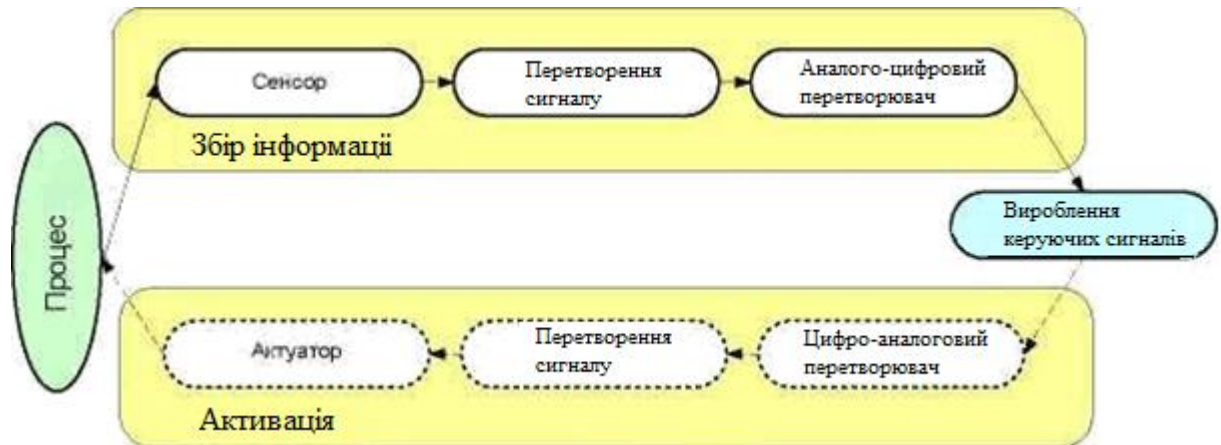


Рисунок 2.1 Збір даних і управління в сенсорних мережах

Область покриття сенсорної мережі може становити від декількох метрів до декількох кілометрів за рахунок здатності ретрансляції повідомлень від одного елемента мережі до іншого. Сенсорна мережа має здатність до ретрансляції повідомлень по ланцюжку від одного вузла до іншого, що дозволяє в разі виходу з ладу одного з вузлів організувати передачу інформації через сусідні вузли без втрати якості. Сама мережа визначає оптимальний маршрут руху інформаційних потоків (див. рисунок 2.2).

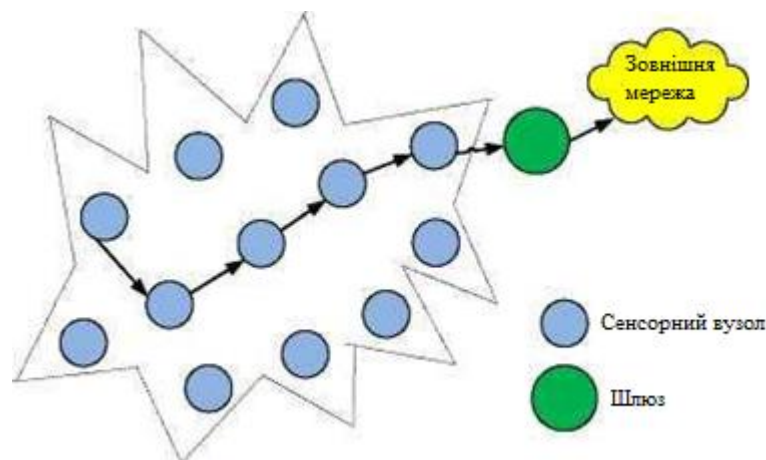


Рисунок 2.2 Маршрутизація інформації в сенсорній мережі

Самоорганізовувана (лат. Adhoc - «за місцем») мережа зв'язку – мережа, в якій число вузлів є випадковою величиною в часі і може змінюватися від 0 до деякого максимального значення. Взаємозв'язки між вузлами в такій мережі також випадкові у часі і утворюються для передачі інформації між подібними вузлами і в зовнішню мережу зв'язку.

Бездротова сенсорна мережа – основа для побудови інтелектуальних систем моніторингу, які вже застосовуються на підприємствах. Прикладом є бездротова система охорони праці на шкідливому виробництві, а також бездротова система моніторингу параметрів машин і механізмів на стадії приймальних випробувань.

2.2 Вузли бездротової сенсорної мережі

Вузли передачі даних – мікроконтролери, оснащені приймачем, акумулятором, процесором, пам'яттю. Завдання вузлів – передавати дані один одному послідовно, причому кожна наступна ітерація передачі повинна бути найменш енергозатратна і бути кроком, на шляху до базової станції. Габаритні розміри сенсорного вузла становить кілька квадратних сантиметрів. На платі пристрою розміщуються процесор, пам'ять, цифроаналогові і аналогоцифрові перетворювачі, радіочастотний приймач, джерело живлення і різні датчики, актуатори. Таким чином, апаратна частина вузла бездротової мережі може бути розділена на наступні чотири підсистеми (рисунки 2.3):

- а) комунікаційна підсистема – забезпечує бездротовий зв'язок з іншими вузлами в сенсорній мережі і містить радіо приймач;
- б) обчислювальна підсистема – забезпечує обробку даних і функціональність вузла і складається з мікроконтролера MCU, до складу якого входять процесор, оперативна SRAM, незалежна EEPROM і

флешпам'ять, аналого-цифровий перетворювач, таймер, порти введення / виводу;

в) сенсорна підсистема – забезпечує з'єднання сенсорного бездротового вузла із зовнішнім світом, до складу якої можуть входити аналогові і цифрові сенсори, актуатори;

г) підсистема електроживлення – забезпечує енергетичне постачання всіх елементів бездротового сенсорного вузла і включає пристрої генерації і акумулювання енергії, а також регулювання напруги.

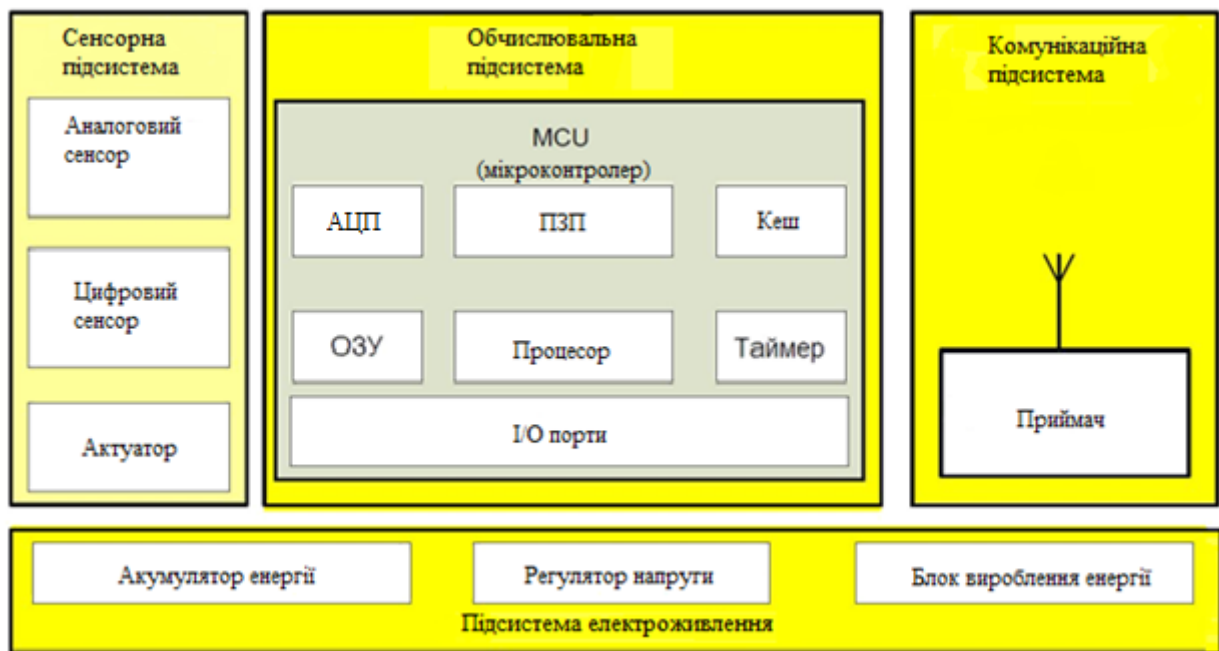


Рисунок 2.3 Вузол безпроводної сенсорної мережі

Датчики можуть бути найрізноманітнішими. Найчастіше застосовуються датчики температури, тиску, вологості, освітленості, вібрації, розташування. Рідше застосовуються – магнітоелектричні, хімічні (наприклад, для вимірювання вміст CO_2 , рівень радіаційного фону) та інші. Вибір застосовуваних датчиків залежить від необхідних завдань, виконуваної бездротовою сенсорною мережею.

Отримані від датчика електричні сигнали часто не готові для обробки, тому вони проходять в моті через стадію перетворення. Наприклад, сигнал часто вимагає посилення для збільшення амплітуди, можливе застосування

фільтрів для усунення небажаного шуму в певних діапазонах частот і т.д. Перетворений сигнал трансформується за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП) в цифровий сигнал. В результаті сигнал виходить в цифровій формі, і він готовий до подальшої обробки в процесорі і зберігання в пам'яті мікроконтролера. При наявності виконавчих механізмів існує можливість застосовувати вплив на зовнішнє середовище через актуатор вузлів мережі.

Живлення сенсорного вузла здійснюється зазвичай від невеликої батареї або акумулятора.

Крім розмірів, є й інші жорсткі обмеження для вузлів БСМ. Вони повинні:

- споживати мало енергії;
- працювати з великою кількістю вузлів;
- мати низьку вартість виробництва;
- бути автономними і працювати без обслуговування;
- адаптуватися до навколишнього середовища.

Зовнішній вигляд сенсорних вузлів приведений на рисунку 2.4.

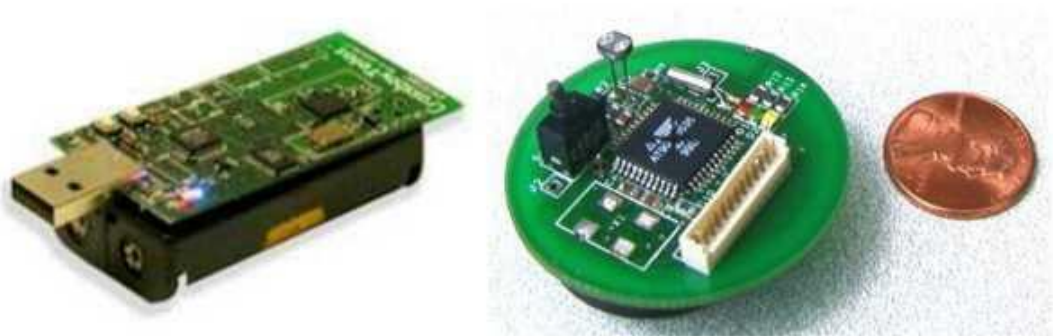


Рисунок 2.4 Зовнішній вигляд сенсорних вузлів

Для виконання функцій на сенсорні вузли встановлюється операційна система (ОС). Широко відомою операційною системою для сенсорних вузлів є система з відкритим кодом TinyOS – це керована подіями операційна система реального часу, розрахована на роботу в умовах обмежених обчислювальних ресурсів. Ця ОС дозволяє сенсорам автоматично

встановлювати зв'язки з сусідами і формувати сенсорну мережу заданої топології.

Оскільки однією з найважливіших функцій сенсорів є автоматичний вибір схеми організації мережі і маршрутів передачі даних, бездротові сенсорні мережі по суті є самоналагоджувальними. Найчастіше сенсорний вузол повинен мати можливість самостійно визначити своє місце розташування, хоча б, по відношенню до того сенсора, якому він буде передавати дані. Тобто спочатку відбувається ідентифікація всіх сенсорів, а потім вже формується схема маршрутизації.

Сенсорні вузли можуть закріплюватися стаціонарно, а також мати відносну мобільність, тобто довільно переміщатися одна відносно одної в деякому просторі, не порушуючи при цьому логічної зв'язаності мережі. В останньому випадку сенсорна мережа не має фіксованої постійної топології, і її структура динамічно змінюється з плином часу.

Типова архітектура БСМ включає три типи вузлів (рисунк 2.5):

- координатор;
- маршрутизатор;
- кінцевий вузол.

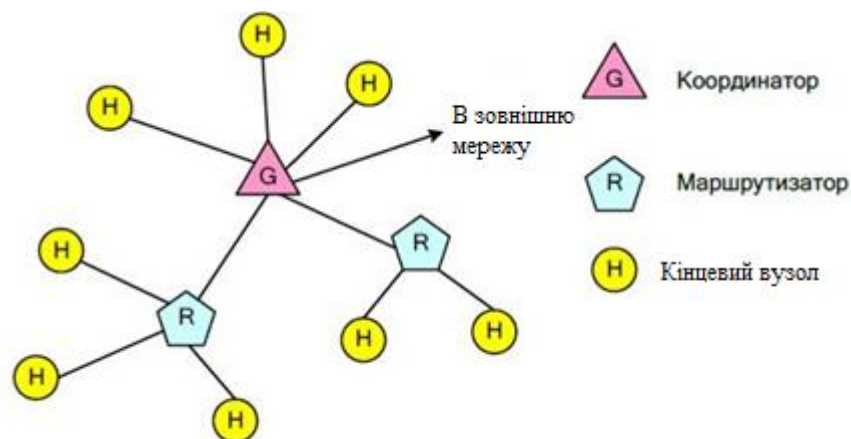


Рисунок 2.5 Типи вузлів БСМ

Координатор – здійснює глобальну координацію, організацію та установку параметрів мережі, є найбільш складним пристроєм БСМ, вимагає найбільший об'єм пам'яті і найбільшу потужність джерела живлення. В одній мережі повинен бути присутнім тільки один координатор. З координатора здійснюється вихід в зовнішню мережу (він реалізує функцію шлюзу - gateway). Часто координатор називають базовою станцією (БС).

Координатор виконує наступні функції:

- визначає незадіяні канали з переліку каналів, доступних для організації мережі і визначених розробником і організовує мережу;
- передає мережеві сигнальні пакети з інформацією про існуючу мережу;
- управляє мережевими підлеглими пристроями, встановлює параметри мережі – визначає максимальну глибину вкладених підмереж, число мережевих маршрутизаторів і число підлеглих пристроїв;
- забезпечує маршрутизацію інформації між підлеглими пристроями;
- більшу частину часу перебуває в режимі прийому;
- забезпечує організацію таблиць маршрутизації;
- дозволяє маршрутизаторам і кінцевим пристроям входити в мережу.

Маршрутизатор - приймає, буферизує і передає дані від інших вузлів БСМ, а також визначає напрямки передачі.

Маршрутизатор виконує наступні функції:

- визначає активні канали, підключається до мережі і дозволяє кінцевим пристроям входити в мережу – використовує додаткові, визначені програмним забезпеченням, списки активних каналів;
- ретранслює сигнальні мережеві пакети з параметрами мережі від координатора;

- адмініструє мережеві адреси підключених до маршрутизатора підлеглих пристроїв;
- підтримує наступні класи пристроїв маршрутизації: пристрій з таблицею маршрутизації і з функцією деревовидної маршрутизації, пристрій тільки з функцією деревовидної маршрутизації, підтримка функції аварійної деревовидної маршрутизації;
- підтримує два режими роботи пристроїв: без переходу в «сплячий режим» і з переходом в «сплячий» режим в періоди, які визначаються координатором мережі і параметрами мережевої синхронізації;
- підтримує функції маршрутизації багатокоміркових мереж: створює таблиці сусідніх мережевих вузлів з параметром якості зв'язку з кожним з них, створює таблиці мережевої маршрутизації, ретранслює пакети запиту і підтвердження визначення маршрутів між пристроями;
- підтримує функції маршрутизації по деревовидному принципу - транслює повідомлення вгору і вниз по ієрархічній структурі дерева гілки в залежності від адреси одержувача повідомлення.

Кінцевий пристрій (сенсорний вузол) – виконує тільки прикладні дії (збір інформації та управління віддаленим об'єктом) і не здійснює ретрансляцію даних.

Сенсорний вузол має такі особливості:

- завжди шукає і намагається увійти в існуючу мережу – використовує додаткові, визначені додатком, списки активних каналів і сигнальні пакети синхронізації існуючої мережі для визначення параметрів мережі та маршрутизатора для входу в мережу;
- живиться від автономного джерела живлення (батареї);
- з пакетів синхронізації визначає наявність даних від координатора;
- запрошує дані від координатора;

- здатний знаходитися тривалий час в «сплячому» режимі (до 99,99% від всього часу роботи).

По виконуваним наборам функцій всі вузли БСМ можна віднести до двох видів:

- пристрій з повним набором функцій FFD (Fully Function Device):
 - 1) підтримка стандарту IEEE 802.15.4;
 - 2) додаткова пам'ять і енергоспоживання дозволяють виконувати роль координатора мережі;
 - 3) підтримка всіх типів топологій («точка-точка», «зірка», «дерево», «сітчаста топологія»);
 - 4) здатність звертатися до інших пристроїв в мережі.
- пристрій з обмеженим набором функцій RFD (Reduced Function Device):
 - 1) підтримує обмежений набір функцій стандарту IEEE 802.15.4;
 - 2) підтримка топологій «точка-точка», «зірка»;
 - 3) не виконує функції координатора;
 - 4) звертається до координатора мережі і маршрутизатора.

2.3 Технології бездротової передачі даних в БСМ

Бездротові технології - інформаційні технології, призначені для бездротової передачі інформації на відстань між двома й більше об'єктами. Для передачі інформації в безпроводних сенсорних мережах може використовуватися інфрачервоне випромінювання, радіохвилі, оптичне або лазерне випромінювання. На сьогодні існує безліч бездротових технологій, відомих користувачам по їхніх маркетингових назвах, таким як Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth та інші.

Технологія бездротової передачі даних Bluetooth

Технологія Bluetooth (стандарт IEEE 802.15[8]) стала першою технологією, що дозволяє організувати бездротову персональну мережу передачі даних (WPAN - Wireless Personal Network). Вона дозволяє здійснювати передачу даних і голосу по радіоканалу на невеликі відстані (10-100 м) у не-ліцензійному діапазоні частот 2,4 ГГц і з'єднувати ПК, мобільні телефони й інші пристрої при відсутності прямої видимості.

Своєму народженню Bluetooth зобов'язана фірмі Ericsson, що в 1994 році почала розробку нової технології зв'язку. Спочатку основною метою була розробка радіоінтерфейсу з низьким рівнем енергоспоживання й невисокою вартістю, що дозволяв би встановлювати зв'язок між стільниковими телефонами й бездротовими гарнітурами. Однак згодом роботи з розробки радіоінтерфейсу плавно переросли в створення нової технології.

Щоб забезпечити своєму дітищу гідний майбутній і подальший розвиток, в 1998 році фірма Ericsson організувала консорціум Bluetooth SIG (Special Interest Group), перед яким ставилися наступні завдання:

- 1) подальша розробка технології Bluetooth;
- 2) просування нової технології на ринку телекомунікаційних засобів.

Технологія Bluetooth підтримує як з'єднання типу «точка - точка», так і «точка – декілька точок». Два або більше пристроїв, що використовують один канал утворюють пікомережу (piconet). Один із пристроїв в такій мережі працює як основний (master), а інші - як залежні (slave). В одній пікомережі може бути до семи активних залежних пристроїв, при цьому інші залежні пристрої перебувають у стані «паркування», залишаючись синхронізованими з основним пристроєм. Взаємодіючі пікомережі утворюють «розгалужену мережу» (scatternet).

У кожній пікомережі діє тільки один основний пристрій, однак залежні пристрої можуть входити до різних пікомереж. Крім того, основний пристрій однієї пікомережі може бути залежним в іншій (рисунки 2.6). Таке

рішення було знайдено, коли фінська фірма, вивчивши ситуацію на ринку, однією з перших запропонувала розроблювачам наступне рішення.

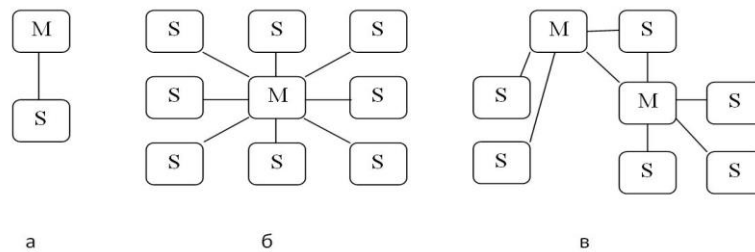


Рисунок 2.6 Пікомережі: а - з одним залежним пристроєм; б - з кількома залежними пристроями; в - розгалужена мережа

У середині 2004 року на зміну специфікації Bluetooth версії 1.1 прийнята специфікація Bluetooth версії 1.2 [9]. Її основні відмінності:

- 1) реалізація технології адаптивної зміни частоти каналу (Adaptive Frequency hopping, AFH);
- 2) удосконалення голосового з'єднання;
- 3) скорочення часу, що використовується на встановлення з'єднання між двома модулями Bluetooth.

Відомо, що Bluetooth і Wi-Fi використовують той самий неліцензійний діапазон 2,4 ГГц. Отже, у тих випадках, коли Bluetooth пристрої перебувають у зоні дії пристроїв Wi-Fi і здійснюють обмін даними між собою, можуть відбуватися колізії і це може вплинути на працездатність пристроїв. Технологія AFH дозволяє уникнути появи колізій: під час обміну інформацією для боротьби з інтерференцією технологія Bluetooth використовує стрибкоподібну зміну частоти каналу, при виборі якого не враховуються частотні канали, якими здійснюють обмін даними пристрої Wi-Fi. Для обміну даними за технологією AFH необхідно від 20 до 30 каналів (для обробки сигналів Bluetooth потрібно 79 каналів, кожний канал вимагає смуги частот 1 МГц). Таким чином, скоротивши необхідну кількість каналів можна зменшити

використовуваний діапазон частот і уникнути перекривання сигналів від пристроїв Bluetooth і Wi-Fi.

У листопаді 2004 року була прийнята специфікація Bluetooth версії 2.0 [10], що підтримує технологію розширеної передачі даних (Enhanced Data Rate, EDR). Специфікація 2.0 з підтримкою EDR дозволяє здійснювати обмін даними на швидкості до 3 Мбіт/с. Перші зразки модулів версії 2.0, що виготовляються серійно і підтримують технологію розширеної передачі даних EDR, були запропоновані виробниками наприкінці 2005 року. Радіус дії таких модулів становить 10 м при відсутності прямої видимості, що відповідає класу 2, а при наявності прямої видимості він може сягати 30 м.

Технологія бездротової передачі даних WI-FI

Стандарти бездротової технології передачі даних для Wi-Fi є досить заплутаними, а тому спочатку варто визначити термінологію.

Стандарт IEEE 802.11 є базовим стандартом для побудови бездротових локальних мереж (Wireless Local Network — WLAN). Стандарт IEEE 802.11[11] постійно вдосконалювався, а тому зараз існує сімейство, до якого відносять специфікації IEEE 802.11 з буквеними індексами a, b, c, d, e, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, u, v, w. Однак тільки п'ять з них (a, b, g, i та n) є основними й користуються найбільшою популярністю у виробників устаткування, інші ж являють собою доповнення, удосконалення або виправлення прийнятих специфікацій. Інститут інженерів по електроніці й електротехніці (IEEE) тільки розробляє й приймає специфікації, на перераховані вище стандарти. До обов'язків інституту не входять роботи з тестування приладів різних виробників на сумісність.

Для просування на ринку пристроїв для бездротових локальних мереж (WLAN) була створена група, що одержала назву Альянс Wi-Fi. Цей альянс здійснює керівництво роботами по сертифікації устаткування різних виробників і видачі дозволу на використання членами Альянсу Wi-Fi

логотипа торговельної марки Wi-Fi. Наявність на устаткуванні логотипа Wi-Fi гарантує надійну роботу й сумісність устаткування при побудові бездротової локальної мережі (WLAN) навіть при використанні пристроїв різних виробників. На сьогоднішній день Wi-Fi сумісним є устаткування, побудоване по стандарту IEEE 802.11a [12], b [13] і g [14] (для забезпечення захищеного з'єднання також може використовуватися стандарт IEEE 802.11i [15]). Крім того, наявність на устаткуванні логотипа Wi-Fi означає, що робота устаткування здійснюється в діапазоні 2,4 ГГц або 5 ГГц. Отже, під Wi-Fi варто розуміти сумісність устаткування різних виробників, призначеного для побудови бездротових локальних мереж, з урахуванням викладених вище обмежень.

Перша специфікація стандарту IEEE 802.11, прийнята в 1997 році, установлювала передачу даних на швидкості 1 і 2 Мбіт/с у неліцензійному діапазоні частот 2,4 ГГц, а також спосіб керування доступом до фізичного середовища (радіоканалу), що використовує метод множинного доступу із упізнанням несучої й усуненням колізій (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA-CA).

Метод CSMA-CA полягає в наступному. Для визначення стану каналу (зайнятий або вільний) використовується алгоритм оцінки рівня сигналу в каналі, відповідно до якого виконується вимірювання потужності сигналів на вході приймача і якість сигналу. Якщо потужність прийнятих сигналів на вході приймача нижче граничного рівня, то канал вважається вільним, якщо ж їхня потужність вище граничного значення, то канал вважається зайнятим.

IEEE 802.11n [16] - новітня версія стандарту 802.11 для мереж Wi-Fi. Цей стандарт був затверджений 11 вересня 2009. Стандарт 802.11n підвищує швидкість передачі даних практично вчетверо в порівнянні із пристроями стандартів 802.11g (максимальна швидкість яких дорівнює 54 Мбіт/с), за умови використання в режимі 802.11n з іншими пристроями 802.11n. Теоретично 802.11n здатний забезпечити швидкість передачі даних до 480

Мбіт/с. Пристрої 802.11n працюють у діапазонах 2,4 - 2,483 або 5,0 ГГц. Крім того, пристрої 802.11n можуть працювати в режимах:

- наслідуваному (Legacy), у якому забезпечується підтримка пристроїв 802.11b/g і 802.11a
- змішаному (Mixed), у якому підтримуються пристрої 802.11b/g, 802.11a і 802.11n
- «чистому» режимі - 802.11n (саме в цьому режимі й можна скористатися перевагами підвищеної швидкості й збільшеною дальністю передачі даних, забезпечуваними стандартом 802.11n).

Чорнову версію стандарту 802.11n підтримують багато сучасних мережних пристроїв. Підсумкова версія стандарту, що була прийнята 11 вересня 2009 року, забезпечує швидкість до 300 Мбіт/с, багатоканальний вхід/вихід, відомий, як MIMO і більше покриття.

Пристрої стандарту 802.11n можуть працювати в одному із двох діапазонів - 2,4 або 5 ГГц. Це набагато підвищує гнучкість їхнього застосування. При виборі системи фахівцям варто мати на увазі, що практично всі клієнти 802.11n на основі CardBus і ExpressCard поки розраховані тільки на діапазон 2,4 ГГц, але деякі зразки вмонтованих адаптерів і плат типорозміру mini-PCI здатні підтримувати обидва діапазони.

Специфікація 802.11n передбачає використання як стандартних каналів шириною 20 МГц, так і широкосмугових - на 40 МГц із більш високою пропускною здатністю. Проект версії 2.0 рекомендує застосовувати 40-мегагерцові канали тільки в діапазоні 5 ГГц, однак користувачі багатьох пристроїв такого типу одержать можливість вручну переходити на широкосмугові канали навіть у діапазоні 2,4 ГГц. Ключовий компонент стандарту 802.11n за назвою MIMO (Multiple Input, Multiple Output - багато входів, багато виходів) передбачає застосування просторового мультиплексування з метою одночасної передачі декількох інформаційних потоків по одному каналі, а також багатопроменеве відбиття, що забезпечує доставку кожного біта інформації відповідному одержувачеві з невеликою ймовірністю впливу

перешкод і втрат даних. Саме можливість одночасної передачі й прийому даних визначає високу пропускну здатність пристроїв 802.11n.

Розроблювачі специфікації 802.11n подбали про те, щоб компоненти на її базі зберігали сумісність із пристроями стандарту 802.11b або 802.11g у діапазоні 2,4 ГГц та з пристроями 802.11a - у діапазоні 5 ГГц. У нових мережах 802.11n ще довгий час буде працювати безліч колишніх бездротових клієнтів.

Технологія бездротової передачі даних Wi-Max

WiMAX (англ. Worldwide Interoperability for Microwave Access) - телекомунікаційна технологія, розроблена з метою надання універсального бездротового зв'язку на великих відстанях для широкого спектру пристроїв (від робочих станцій і портативних комп'ютерів до мобільних телефонів). Заснована на стандарті IEEE 802.16, який також називають Wireless MAN (WiMAX слід вважати жаргонним назвою, так як це не технологія, а назва форуму, на якому Wireless MAN і був узгоджений).

WiMAX підходить для вирішення завдання з'єднання точок доступу Wi-Fi один з одним і іншими сегментами інтернету, а також забезпечення бездротового широкосмугового доступу як альтернативи виділеним лініям і xDSL. WiMAX дозволяє здійснювати доступ в Інтернет на високих швидкостях, з набагато більшим покриттям, ніж у Wi-Fi-мереж. Це дозволяє використовувати технологію в якості магістральних каналів, продовженням яких виступають традиційні виділені і xDSL-лінії, а також локальні мережі. В результаті подібний підхід дозволяє створювати масштабовані високошвидкісні мережі в рамках міст.

WiMAX - це система далекої дії, що покриває кілометри простору, яка зазвичай використовує ліцензовані спектри частот (хоча можливо і використання неліцензованих частот) для надання з'єднання з інтернетом типу точка-точка провайдером кінцевому користувачеві. Різні стандарти сімейства 802.16 забезпечують різні види доступу, від мобільного (схожий з передачею даних у мобільних телефонів) до фіксованого (альтернатива

провідного доступу, при якому бездротове обладнання користувача прив'язане до місця розташування)

WiMAX завдяки використанню технології OFDM створює зони покриття в умовах відсутності прямої видимості від клієнтського обладнання до базової станції, при цьому відстані обчислюються кілометрами. Технологія OFDM означає, що одноразово інформація передається по багатьом піднесучим частотам, що створює канал. Ширина каналу - 20 МГц. У мережах IEEE802.11a в каналі 20 МГц використовуються 52 піднесучих частоти, проте їх номінальне число вибирається з міркувань зручності перетворення Фур'є і приймається рівним 64. Таким чином, інтервал між піднесучими $\Delta f = 20 \text{ МГц} / 64 = 312,5 \text{ кГц}$.

Фіксований WiMAX дозволяє обслуговувати тільки статичних абонентів, а мобільний орієнтований на роботу з користувачами, що пересуваються зі швидкістю до 150 км/год. Мобільність означає наявність функцій роумінгу і "безшовного" перемикання між базовими станціями при пересуванні абонента (як відбувається в мережах стільникового зв'язку).

Структура мереж сімейства стандартів IEEE 802.16 схожа з традиційними GSM-мережами (базові станції діють на відстанях до десятків кілометрів, для їх установки не обов'язково будувати вежі - допускається установка на дахах будинків при дотриманні умови прямої видимості між станціями). WiMAX застосовується як для вирішення проблеми "останньої милі", так і для надання доступу в мережу офісним та районним мережам. Для з'єднання базової станції з абонентською використовується високочастотний діапазон радіохвиль від 1,5 до 11 ГГц. В ідеальних умовах швидкість обміну даними може досягати 70 Мбіт / с, при цьому не потрібно забезпечення прямої видимості між базовою станцією і приймачем. Між базовими станціями встановлюються з'єднання (прямої видимості), що використовують діапазон частот від 10 до 66 ГГц, швидкість обміну даними може досягати 140 Мбіт / с. При цьому принаймні одна базова станція підключається до мережі провайдера з використанням класичних дротових

з'єднань. Однак, чим більше число БС підключено до мереж провайдера, тим вище швидкість передачі даних і надійність мережі в цілому [7].

Технологія бездротової передачі даних ZigBee

Технологія бездротової передачі даних ZigBee була представлена на ринку вже після появи технологій бездротової передачі даних Bluetooth і Wi-Fi. Поява технології ZigBee обумовлено, насамперед, тим, що для деяких операцій основними критеріями при виборі технології бездротової передачі є низьке енергоспоживання апаратної частини і її низька вартість. Цим обумовлена низька пропускна спроможність, тому що в більшості випадків живлення датчиків здійснюється від умонтованої батареї, час роботи від якої повинен перевищувати кілька місяців і навіть років. Існуючі на той момент часу технології бездротової передачі даних Bluetooth і Wi-Fi не відповідали цим критеріям, забезпечуючи передачу даних на високих швидкостях, з високим рівнем енергоспоживання й вартості апаратної частини. В 2001 році робочою групою № 4 IEEE 802.15 були розпочаті роботи зі створення нового стандарту, який би відповідав наступним вимогам: низький рівень енергоспоживання апаратної частини, що реалізує технологію бездротової передачі даних (час роботи від батареї повинен становити від декількох місяців до декількох років); передача інформації повинна здійснюватися на не високій швидкості; низька вартість апаратної частини. Результатом стала розробка стандарту IEEE 802.15.4 [17]. У багатьох публікаціях під стандартом IEEE 802.15.4 розуміють технологію ZigBee і навпаки під ZigBee — стандарт IEEE 802.15.4. Однак це не так. Стандарт IEEE 802.15.4 визначає взаємодію тільки двох нижчих рівнів моделі взаємодії: фізичного рівня (PHY) і рівня керування доступом до радіоканалу для трьох неліцензійних діапазонів частот: 2,4 ГГц, 868 МГц і 915 МГц.

У свою чергу, технологія бездротової передачі даних ZigBee, запропонована альянсом ZigBee, визначає інші рівні моделі взаємодії, до яких відносять мережевий рівень, рівень безпеки, рівень структури додатка й рівень профілю додатка.

Наведений у пункті огляд технологій бездротової передачі даних Bluetooth, Wi-Fi і ZigBee показує, що навіть для досвідчених розроблювачів, буває важко однозначно віддати перевагу тій або іншій технології тільки на підставі технічної документації.

Тому підхід до вибору повинен ґрунтуватися на комплексному аналізі декількох параметрів. Порівняльні характеристики технологій Bluetooth, Wi-Fi і ZigBee наведені в таблиці 1.3.1. Ця інформація допоможе прийняти правильне рішення при виборі технології бездротової передачі даних. Від використаної технології передачі даних залежить і галузь застосування пристроїв.

Таблиця 2.1 Характеристики технологій Bluetooth, Wi-Fi і ZigBee

Бездротова технологія (стандарт)	ZigBee (IEEE 802.15.4)	Wi-Fi (IEEE 802.11b)	Bluetooth (IEEE 802.15.1)
Частотний діапазон	2,4...2,483 ГГц	2,4...2,483 ГГц	2,4...2,483 ГГц
Пропускна здатність, кБіт / с	250	11000	723,1
Розмір стека протоколу, кБайт	32...64	Більше 1000	Більше 250
Діапазон дії, м	10...100	20...300	10...100
Області застосування	Віддалений моніторинг і управління	Передача мультимедійн ої інформації	Заміна провідного з'єднання

Іншим можливим способом зв'язку в сенсорних мережах є використання ІЧ-портів. ІЧ-зв'язок доступний без ліцензії і захищений від перешкод електричних приладів. ІЧ-передавачі дешевші і простіші у виробництві. Основним недоліком такого зв'язку є вимога прямої видимості

між відправником і отримувачем. Це робить ІЧ-зв'язок недоцільним для використання в сенсорних мережах через середовище передачі.

Є також вузли БСМ, які використовують для передачі оптичне середовище. Застосовуються дві схеми передачі - пасивну з використанням світловідбивачі CCR (Corner - Cube Retroreflector) і активну з використанням лазерного діода і керованих дзеркал. У першому випадку не потрібне інтегроване джерело світла, для передачі сигналу використовується конфігурації з трьох дзеркал CCR. Активний метод використовує лазерний діод і систему активного лазерного зв'язку для відправки світлових променів приймачеві.

2.4 Протоколи маршрутизації в сенсорних мережах

Маршрутизація - процес визначення шляху передачі даних від вузла-відправника до вузла-одержувача через проміжні вузли і подальшого перенаправлення пакета.

Протоколи маршрутизації реалізують механізми визначення шуканого напрямку передачі даних з одного пункту в інший. Обчислювально-комунікаційні вузли в БСМ обмінюються інформацією про топологію мережі в відповідності до алгоритму побудови таблиць маршрутизації. При цьому збирається і передається по мережі тільки службова інформація і складається карта зв'язків мережі певного ступеня опрацьованості [18]. На підставі цієї інформації для кожної мережі приймається рішення про те, якому наступному маршрутизатору треба передавати пакети, щоб маршрут виявився оптимальним.

Після перепобудови мережі деякі записи в таблиці стають недійсними. У таких випадках пакети, відправлені за помилковими маршрутами, можуть зациклюватися і втрачатися. Якість роботи всієї мережі залежить від здатності протоколу маршрутизації оперативно приводити в відповідність

вміст таблиць реального стану мережі. Загалом, для БСМ до протоколів маршрутизації висуваються наступні вимоги [19]:

- оперативна реакція при зміні маршрутів;
- регулювання швидкості передачі і обробки даних;
- енергоефективність;
- збір і агрегація даних;
- підтримка рівня якості обслуговування;
- забезпечення безпеки передачі даних;
- максимізація зони покриття мережі.

Протоколи маршрутизації можна розділити на наступні категорії [20]:

- протоколи маршрутизації, засновані на мобільності вузлів в мережі;
- протоколи маршрутизації, засновані на якості обслуговування Quality of Service (QoS);
- протоколи маршрутизації, засновані на гетерогенності (містять обладнання і програмне забезпечення різних виробників);
- ієрархічні протоколи маршрутизації (виконуються автономно на кожному рівні мережі);
- протоколи маршрутизації, спрямовані на агрегацію даних;
- мульти-орієнтовані протоколи маршрутизації;
- протоколи маршрутизації, засновані на місцезнаходження вузлів.

Розглянемо найбільш відомі протоколи.

Sensor Protocols for Information via Negotiation (SPIN)

Це сімейство протоколів спрямоване на агрегацію даних. У тому випадку, коли базової станції потрібно визначити інтегральну характеристику для якої-небудь ділянки мережі, один з сенсорів цієї ділянки призначається агрегатором [21] (пристрій виконує функцію збору даних). Він збирає з інших вузлів цієї ділянки приватні значення визначеної характеристики, обчислює агрегатну функцію від них (середнє, мінімум,

максимум і т.д.) і передає це значення базової станції. При цьому загальні витрати на передачу інформації істотно нижче, ніж при відсутності агрегатора [21]. Якщо кількість сенсорів в мережі досить велике, мережа зазвичай розбивається на кластери і агрегація виконується в кожному кластері незалежно.

Протоколи SPIN засновані на процедурі переговорів і дозволяють сенсорам здійснювати узгодження один з одним перед передачею даних в мережі [21]. Взаємодія заснована на трьох типах повідомлень:

- Advertise (ADV) – повідомлення про наявність нових даних у вузлі, містить їх опис (метадані);
- Request (REQ) – запит даних;
- DATA – безпосередньо дані.

Суть алгоритму полягає в наступному. При отриманні нових даних вузлом А надсилається повідомлення ADV сусідньому вузлу В (рисунок 2.7 а). Отримавши від нього запит REQ на передачу (рисунок 2.7 б), вузол А передає дані (рисунок 2.7 в). Після отримання запитуваних даних вузол В аналогічно посилає повідомлення ADV для своїх сусідів (рисунок 2.7 г). Вузли, зацікавлені в цих даних, в свою чергу відправляють запити REQ назад в В (рисунок 2.7 д). На завершення вузол В розсилає необхідні дані (рисунок 2.7 е).

Метадані служать описом реальних даних, спираючись на які, вузли уникають повторної передачі одних і тих же даних (Наприклад, самому джерелу). Отже, знижується надмірність мережевого трафіку і зменшується витрата енергії.

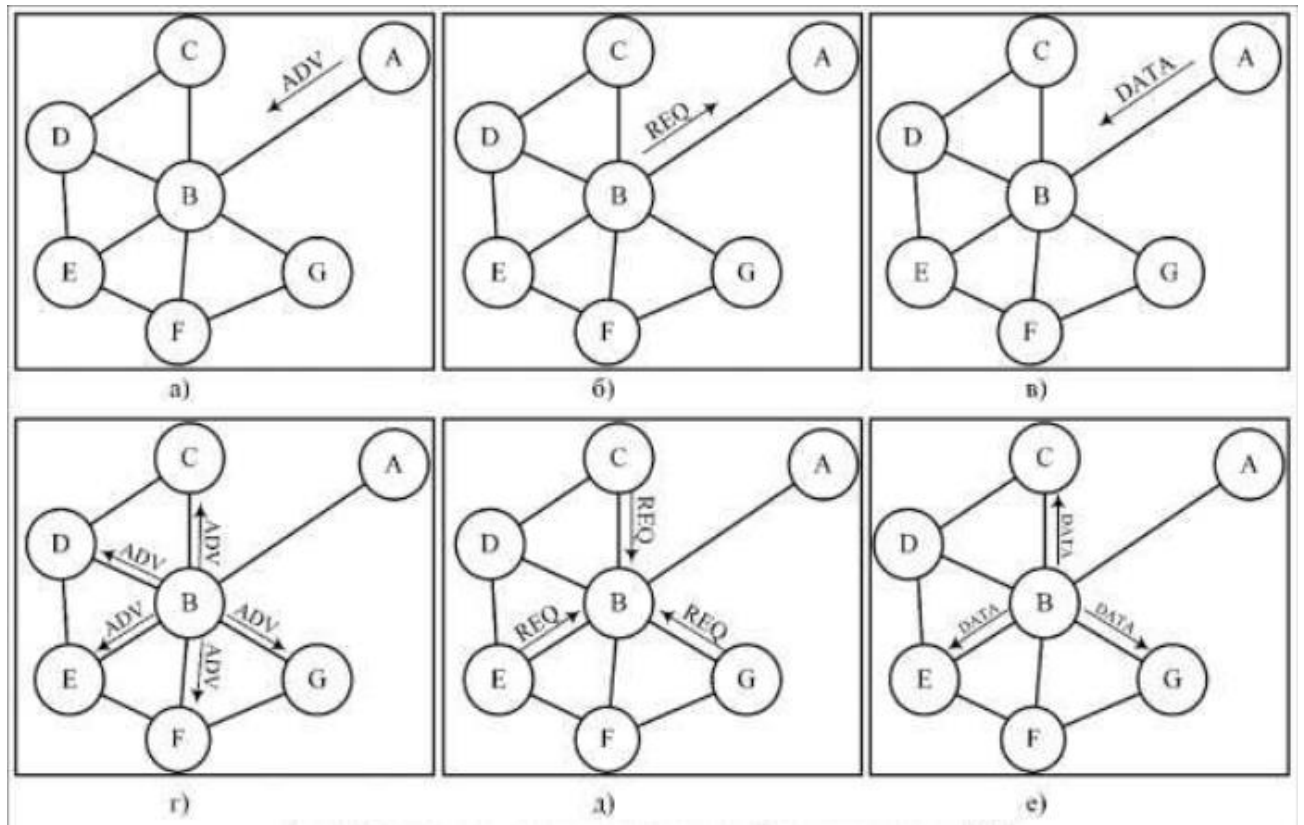


Рисунок 2.7 Ілюстрація механізму взаємодії протоколу SPIN

Directed diffusion (DD)

DD – протокол агрегації даних. Він орієнтований на централізовану модель збору з доставкою даних по запиту. Передбачає наявність центрального вузла Sink, і відповідно, маршрутизацію від безлічі джерел до одного приймача [22].

Алгоритм роботи DD складається з трьох основних фаз (рисунок 2.8) :

1. розсилка вузлом Sink повідомлення запиту Interest;
2. первісна настройка градієнтів Gradients;
3. зміцнення шляху і передача даних.

Процес передачі даних в такому протоколі описується як спрямована дифузія. На початку приймач визначає низьку швидкість передачі даних для всіх вступників подій. В Надалі він може «зміцнити» один певний сенсор, відправивши йому повідомлення Interest, збільшивши, таким чином, швидкість передачі. Аналогічно, якщо сусідній сенсор отримає це повідомлення і більш високу швидкість передачі ніж перш (вище ніж у будь-

якого існуючого градієнта), то це «зміцнить» один або більше його сенсорів-сусідів. Градієнт вказує можливе напрямком маршрутизації і може мати свою вагу. В результаті для передачі даних вибирається найбільш відповідний шлях (наприклад, найкоротший або більше енергоефективний).

Запроси Interest, періодично повторюються вузлом Sink для забезпечення працездатності та надійності всієї БСС.

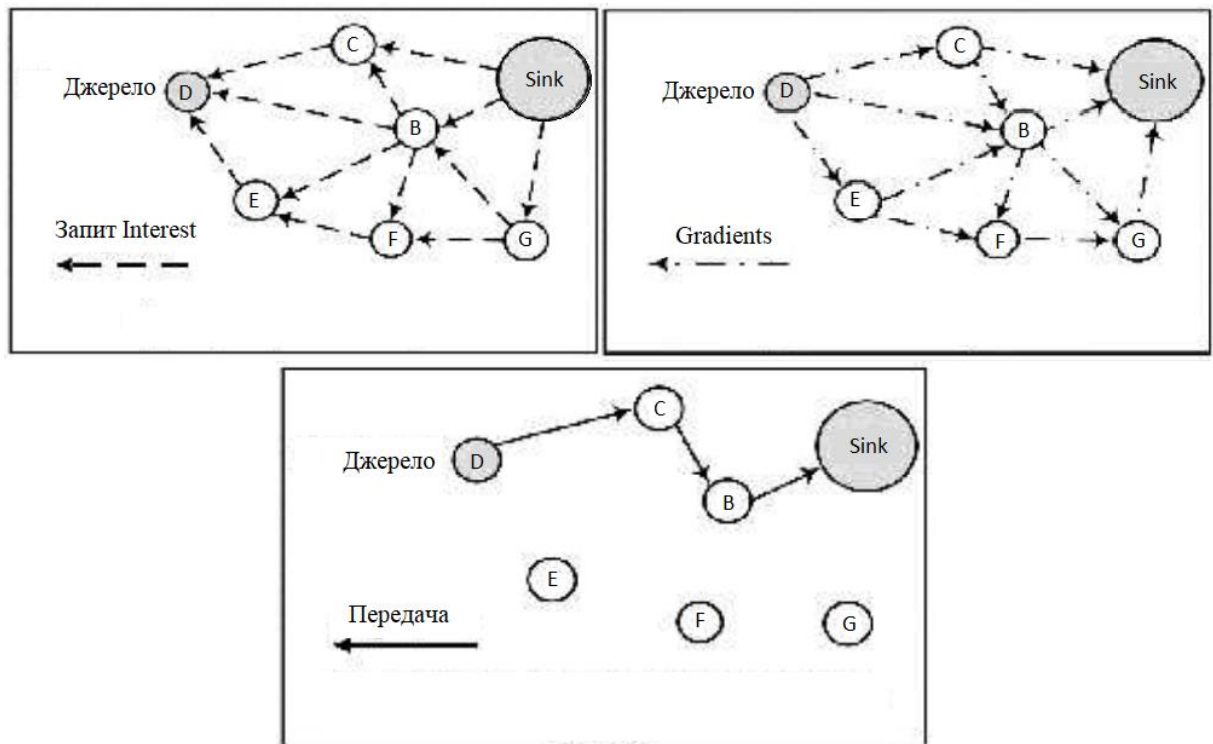


Рисунок 2.8 Ілюстрація взаємодії протоколу DD

Rumor Routing (RR)

Варіація алгоритму DD. Особливість протоколу – наявність в мережі повідомлення Agent з великим часом життя Time to Live (TTL), яке передається по мережі і поширює інформацію про події, що відбулися іншим вузлам [23]. Таким чином, вузли поповнюють свою таблицю подій і передають повідомлення Agent сусіднім вузлам до тих пір, поки він не вичерпає TTL. У момент, коли центральним вузлом поширюється запит на отримання даних, які вже є в базі, вузли переглядають свої таблиці подій, і, при виявленні відповідності, інформують результат. Тому інформація про

подію доходить до вузла-ініціатора ще до того як запит дійде до джерела даних (рисунок 2.9).

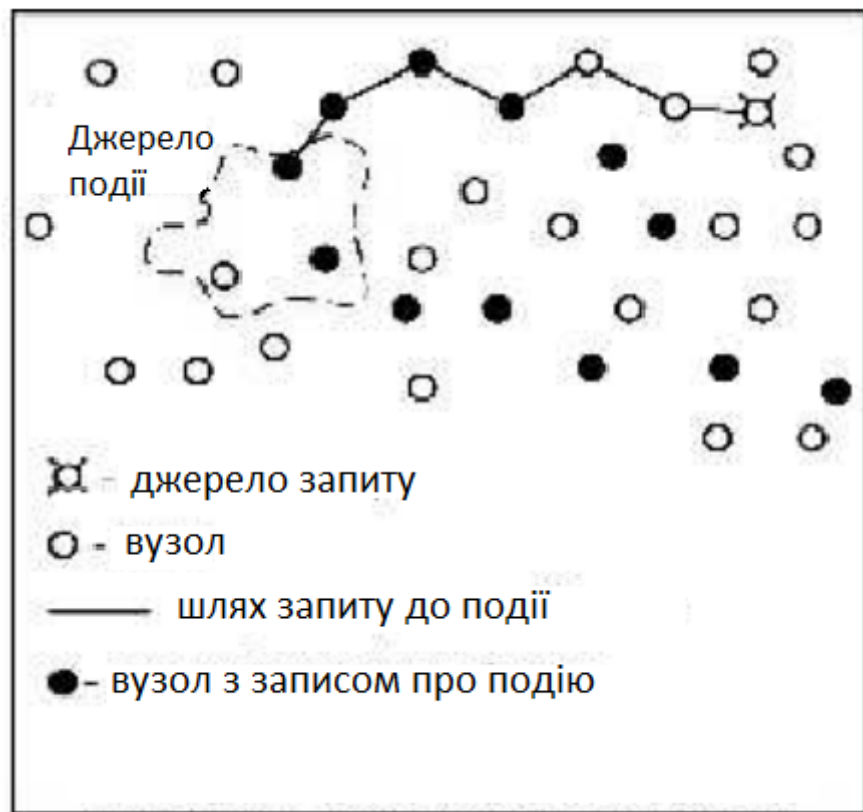


Рисунок 2.9 Ілюстрація до протоколу RR

Gradient-based routing (GBR)

Ще один різновид протоколу DD. Особливість алгоритму - наявність в кожному вузлі параметра висоти Height, який визначає мінімальне число ланок на шляху проходження маршруту. Для кожного з сусідніх напрямків градієнт вказує різницю висот вихідного і сусіднього вузла. Для передачі даних вибирається напрямок з найбільшим значенням градієнта [24].

Протокол маршрутизації GBR може доповнюватися правилами економії енергії. Для зменшення навантаження і збереження обмеженого запасу енергії вузол здатний самостійно збільшити параметр Height, перерозподіливши поступаюче навантаження на потрібні напрямки передачі даних. Крім того, аналіз вже задіяних маршрутів може забезпечити балансування трафіку. Отже, для передачі нових даних необхідно

використовувати вузли і маршрути, які не беруть участі в передачі інших потоків.

Geographic Adaptive Fidelity (GAF)

Енергозберігаючий протокол використовуючий інформацію про місцезнаходження вузла в просторі. В основі лежить принцип проектування на віртуальну решітку (рисунок 1.4.4). Отримані квадрати асоціюють з кластером, де вузли знаходяться в радіо видимості між собою і вузлами сусідніх кластерів [25].

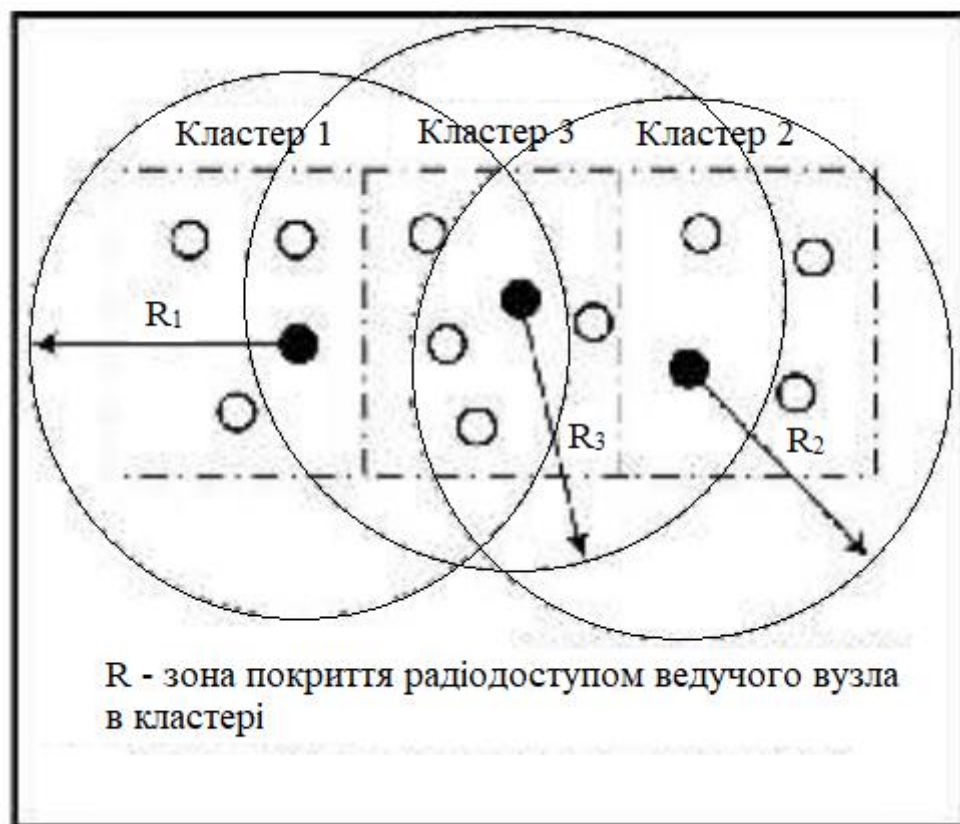


Рисунок 2.10 Ілюстрація до протоколу RR

Кожен вузол мережі може перебувати в трьох режимах: активному, виявлення, очікування (рисунок 2.11). У середині кластера визначається провідний вузол, а всі інші переходять в режим очікування. Він підтримує маршрутизацію і спостерігає за де активованими вузлами кластера. Передача даних здійснюється між активними вузлами, що виключає зайве вузли ретрансляції і отже мінімізується витрата енергії.



Рисунок 2.11 Діаграма переходів станів протоколу GAF

Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH)

LEACH - ієрархічний протокол маршрутизації в БСМ. Використовує кластерну модель збору даних з розподілених вузлів нижчого рангу Cluster Members (CM) і вузла вищого рангу Cluster Head (CH) [26]. Головні вузли CH виконують функції маршрутизації і вибираються за випадковим принципом. Алгоритм вибору гарантує, що кожен вузол буде обраний головним вузлом тільки один раз протягом одного циклу. CH збирають дані від вузлів, що знаходяться в безпосередній близькості, і після об'єднання відправляють їх на базову станцію. Сукупність головних вузлів CH формує основу комунікаційної інфраструктури мережі (рисунок 2.12).

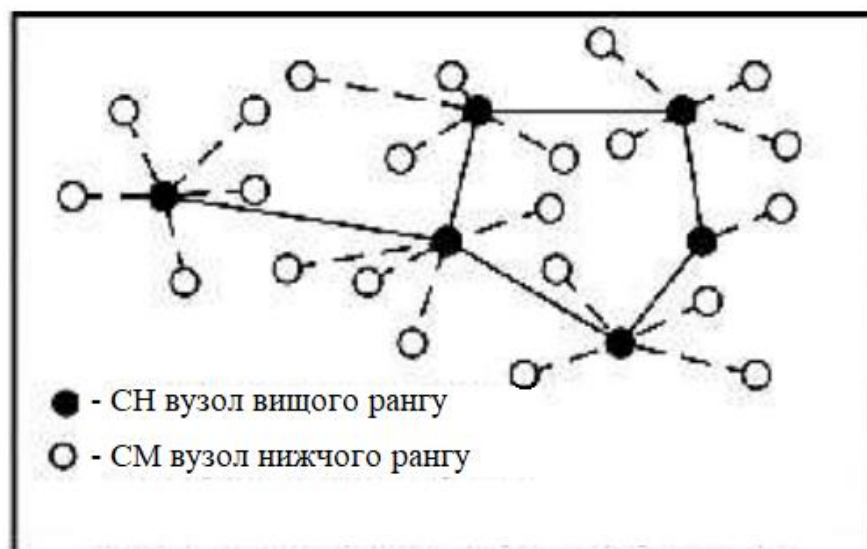


Рисунок 2.12 Ілюстрація до протоколу LEACH

Two-Tier Data Dissemination (TTDD)

TTDD - протокол з ієрархічним методом передачі даних. Він орієнтований на ефективну роботу в широкомасштабних БСМ з мобільними вузлами збору даних і стаціонарними сенсорами. Маршрутизація базується на інформації про місцезнаходження кожного вузла і побудові сітки ланок (рисунок 2.13).

Сенсори, які розташовуються ближче всього до точок перетину сітки, називаються вузлами поширення Dissemination nodes. Вони оновлюють таблицю маршрутизації, постійно відстежуючи розташування приймача даних.

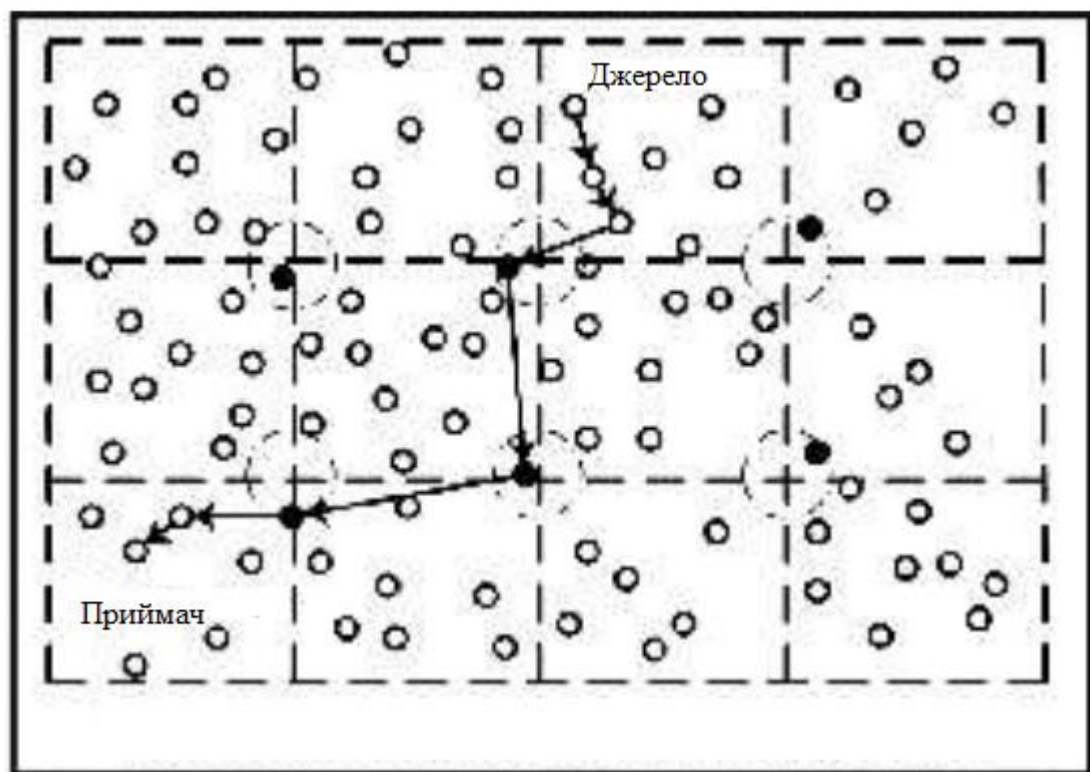


Рисунок 2.13 Ілюстрація до протоколу TTDD

Передача даних здійснюється в два етапи. Спочатку - всередині осередків сітки у напрямку до вузлу поширення, потім - по вузлах поширення до джерела або декількох джерел отримання даних [27].

Таким чином, протокол TTDD локалізує вплив пересування вузла збору даних, і тільки невеликий набір сенсорів верхнього рівня повинен постійно

підтримувати маршрутизацію в актуальному стані. В мережі в цілому зменшується обмін службовою інформацією і, отже, заощаджується живлення вузлів.

2.5 Кластеризація в БСМ

Кластеризація є невід'ємною частиною ієрархічних протоколів маршрутизації. У процесі досліджень по кластеризації БСМ було розроблено кілька механізмів кластеризації, таких як LEACH, PEGASIS, TEEN і APTEEN. Як правило, ці механізми кластеризації засновані на виборі головного вузла кластера. Тому, найбільш поширеними для кластерних БСМ є завдання по розробці алгоритмів вибору головних вузлів кластера. Приклад кластерної бездротової сенсорної мережі показаний на рисунку 2.14.

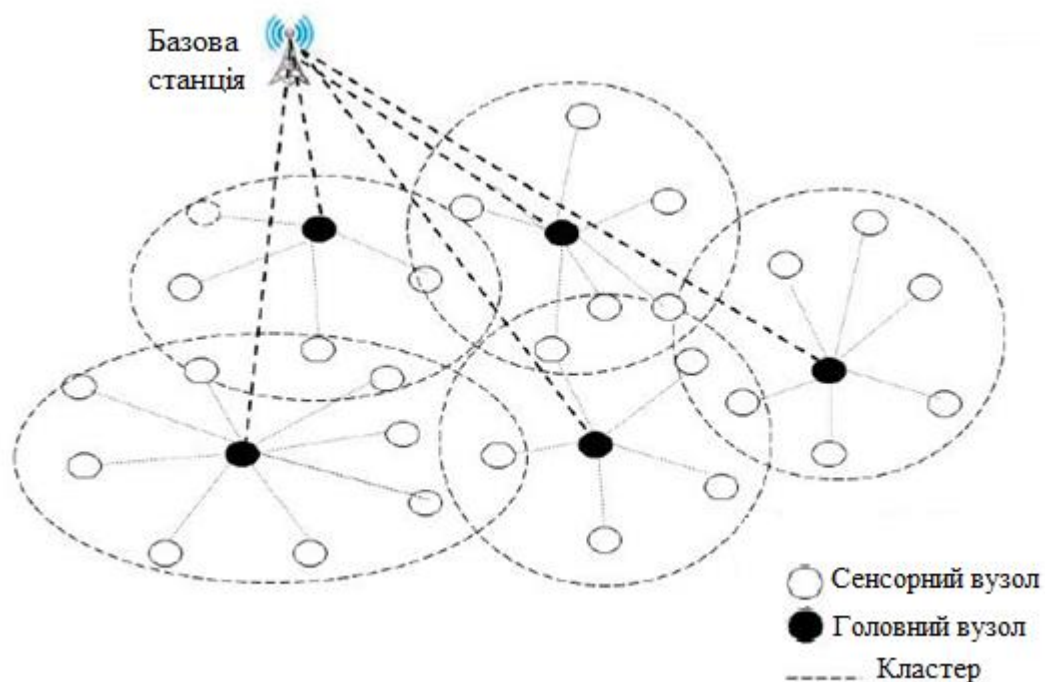


Рисунок 2.14 Кластерна бездротова сенсорна мережа

Протоколи маршрутизації на основі кластеризації складаються з двох фаз, які в свою чергу діляться на два етапи: вибір головного вузла кластера

CH (Cluster Head), формування кластера, агрегація даних і передача даних (рисунок 2.15).

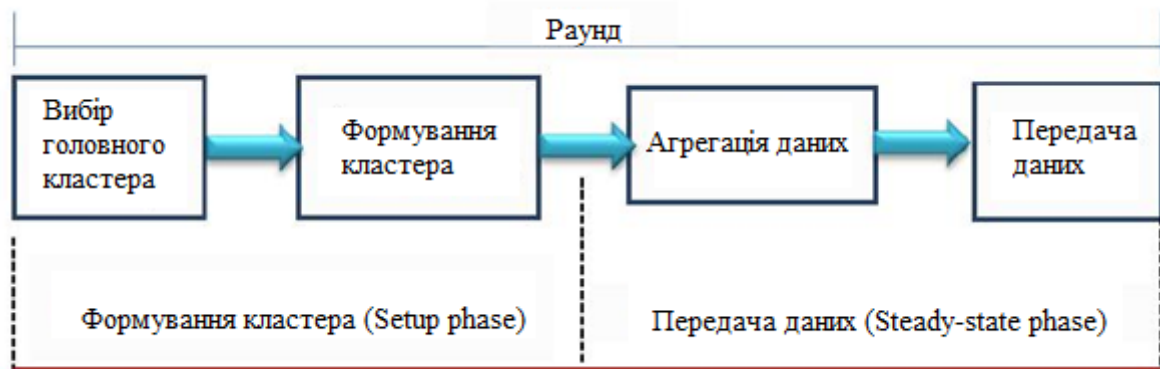


Рисунок 2.15 Блок-схема протоколів маршрутизації на основі кластеризації (процес кластеризації)

Сенсорні вузли відповідно до виконуваних ними функціями в алгоритмах кластеризації можуть бути згруповані на чотири категорії.

Головний вузол кластера (CH). Координація групи вузлів, розташованих в межах кластера, агрегація даних від членів кластера і передача зібраних або агрегованих даних на наступний вузол є основними функціями CH.

Базова станція (BS). З огляду на високі можливості обробки інформації і необмежене джерело енергії, БС може бути координатором мережі і / або прийомним вузлом, де все агреговані дані обробляються відповідно до додатка БСМ і вимогами кінцевого користувача.

Релейний вузол RN (Relay node). Транзитні вузли в багатокрокових мережах, виконуючі функції передачі зібраних або агрегованих даних іншими вузлами, до місця призначення.

Типовий вузол GN (General node). Більшість вузлів в мережі, які тільки забезпечують збір даних, заснованих на типі застосування.

2.6 Висновки з розділу 2

В цьому розділі були розглянуті бездротові сенсорні мережі, основні поняття та компоненти, вимоги, переваги і недоліки використання БСМ. Описано загальний принцип роботи сенсорної мережі та її окремих складових. Детально розглянуті технології і протоколи передачі та зроблена порівняльна характеристика основних технологій в таблиці. Також описані основні протоколи маршрутизації, детально розглянутий принцип їх роботи і пояснений на ілюстраціях. Розглянуто кластеризацію в безпроводних сенсорних мережах, типову будову кластерної мережі і її основні елементи.

3 ЗАСТОСУВАННЯ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

Термін «бездротова сенсорна мережа» (БСМ) означає новий клас сенсорних мереж, які являють собою розподілену, самоорганізовану і стійку до відмов окремих елементів мережу мініатюрних електронних пристроїв з автономними джерелами живлення. Інтелектуальні вузли такої мережі здатні ретранслювати повідомлення по ланцюгу, забезпечуючи значну площу покриття системи при малій потужності передавачів і, отже, високої енергетичної ефективності системи. Сьогодні технологія бездротових сенсорних мереж на основі стандартів 802.15.4 / ZigBee є єдиною бездротовою технологією, за допомогою якої можна вирішити завдання моніторингу та контролю, які критичні до часу автономної роботи датчиків. Основною областю застосування є контроль і моніторинг вимірюваних параметрів різних фізичних полів, середовищ і об'єктів. Класифікація датчиків БСМ є надзвичайно різноманітною, наприклад: сейсмічних, датчиків визначення магнітного поля, теплових, інфрачервоних, акустичних, які в змозі здійснювати найрізноманітніші вимірювання умов навколишнього середовища. Такі як:

- температура;
- вологість;
- автомобільний рух;
- стан блискавки;
- тиск;
- склад ґрунту;
- рівень шуму;
- наявність або відсутність деяких об'єктів;
- механічне навантаження;
- динамічні характеристики, такі як швидкість, напрямок і розмір об'єкта.

Переваги систем на основі бездротових сенсорних мереж:

- можливість розташування в важкодоступних місцях, куди складно і дорого тягнути звичайні провідні рішення;
- оперативність і зручність розгортання і обслуговування системи;
- надійність мережі в цілому - в разі виходу з ладу одного з них, інформація передається через сусідні елементи;
- можливість додавання або виключення будь-якої кількості пристроїв з мережі;
- високий рівень проникнення крізь перешкоди (стіни, стелі) і стійкість до електромагнітних завад (завдяки високій частоті роботи системи - 2,4 ГГц);
- тривалий час роботи без заміни елементів живлення.

3.1 Бездротові системи охоронно-пожежної сигналізації з використанням технологій ZigBee і GSM

В даний час бездротові технології набувають все більшої популярності для створення систем охоронно-пожежної сигналізації. За результатами огляду [28] можна зробити висновок, що деякі бездротові системи охоронно-пожежної сигналізації (БСОПС) вже представлені на ринку, проте мають ряд недоліків внаслідок використання єдиної технології передачі даних - радіоканалу в частотному діапазоні 433 МГц. Такі системи мають невисоку ємність (максимально можлива кількість пристроїв, що функціонують в системі) за рахунок низької пропускну здатності каналу, значне збільшення вартості системи при об'єднанні в бездротову мережу декількох віддалених один від одного будинків, високе енергоспоживання, що несе за собою часту зміну елементів живлення. Таким чином, завдання поліпшення характеристик БСОПС як і раніше є актуальною.

Пропонований мною спосіб поліпшення характеристик БСОПС полягає в переході на частотний діапазон 2,4 ГГц, в об'єднанні різних бездротових технологій (ZigBee, GSM) і в комбінуванні провідного (Ethernet) і бездротового (ZigBee, GSM) зв'язку.

Перехід на частотний діапазон 2,4 ГГц дозволяє збільшити пропускну здатність бездротового каналу при зменшенні енергоспоживання окремих бездротових пристроїв і, отже, збільшити ємність системи. Для цього може використовуватися сучасний активно розвивається протокол ZigBee [29], призначений для роботи по радіоканалу в частотному діапазоні 2,4 ГГц. Діапазон частот 2,4 ГГц не використовувалася для створення подібних систем, так як отримав широке поширення відносно недавно, і при цьому він має ряд переваг перед низькочастотними діапазонами, використовуваними в інших БСОПС. Частотний діапазон 2,4 ГГц є неліцензованим, що спрощує процес комерціалізації системи і дозволяє здійснювати передачу на досить високих швидкостях (до 250 кб/с) при достатній захищеності інформації - в протоколі передбачено блок шифрування даних з алгоритмом AES-128.

Можливості технології GSM дозволяють обмінюватися даними між пристроями, що знаходяться в зоні покриття оператора стільникового зв'язку. Отже, об'єднання технологій ZigBee і GSM дозволяє збільшити зону покриття БСОПС і знімає проблему об'єднання віддалених один від одного будівель в бездротову мережу. Такий підхід може мати попит на великих підприємствах. Крім того, при виникненні пожежі буде відбуватися інформування відповідних служб за допомогою стільникового зв'язку.

Комбінування провідний (Ethernet) і бездротового (ZigBee, GSM) зв'язку дозволяє підвищити швидкість передачі даних і ще більше знизити енергоспоживання. При істотному підвищенні швидкості передачі даних з'являється можливість роботи з відеосигналом, що дозволяє системі найбільш повно виконувати охоронні функції.

3.2 Структура бездротових систем охоронно-пожежної сигналізації

Бездротова мережа, побудована за технологією ZigBee, складається з пристроїв трьох типів: координатор, роутер, кінцевий пристрій. Кінцевим пристроєм в БСОПС є пристрій, що складається з датчика фізичної величини (наприклад, датчик диму, датчик температури, датчик руху і т.д.) і приймача. Роутер - це своєрідний «подовжувач», що передає дані по мережі без змін. Роутери можуть бути як бездротовими, так і об'єднаними в дротову мережу по Ethernet. Передбачена можливість інтегрувати пожежні сповіщувачі і роутери для скорочення кількості пристроїв мережі, а отже, для спрощення монтажу. Кінцевий пристрій передає дані через ряд роутерів на координатор, який здійснює контроль працездатності всієї мережі. Далі відбувається обробка даних приймально-контрольним модулем (ПКМ), що включає в себе координатор. ПКМ відображає на вбудованому LCD-дисплеї тривожні повідомлення (пожежа, несанкціоноване проникнення в приміщення і т.д.), а також інформацію про те, в якому приміщенні спрацював відповідний датчик. Крім відображення на LCD, дані передаються на комп'ютер для подальшої обробки програмним забезпеченням автоматизованого робочого місця оператора. При необхідності об'єднання в мережу декількох будівель передбачена можливість використання WiFi-модулів і GSM-модулів (рисунок 3.2.1)

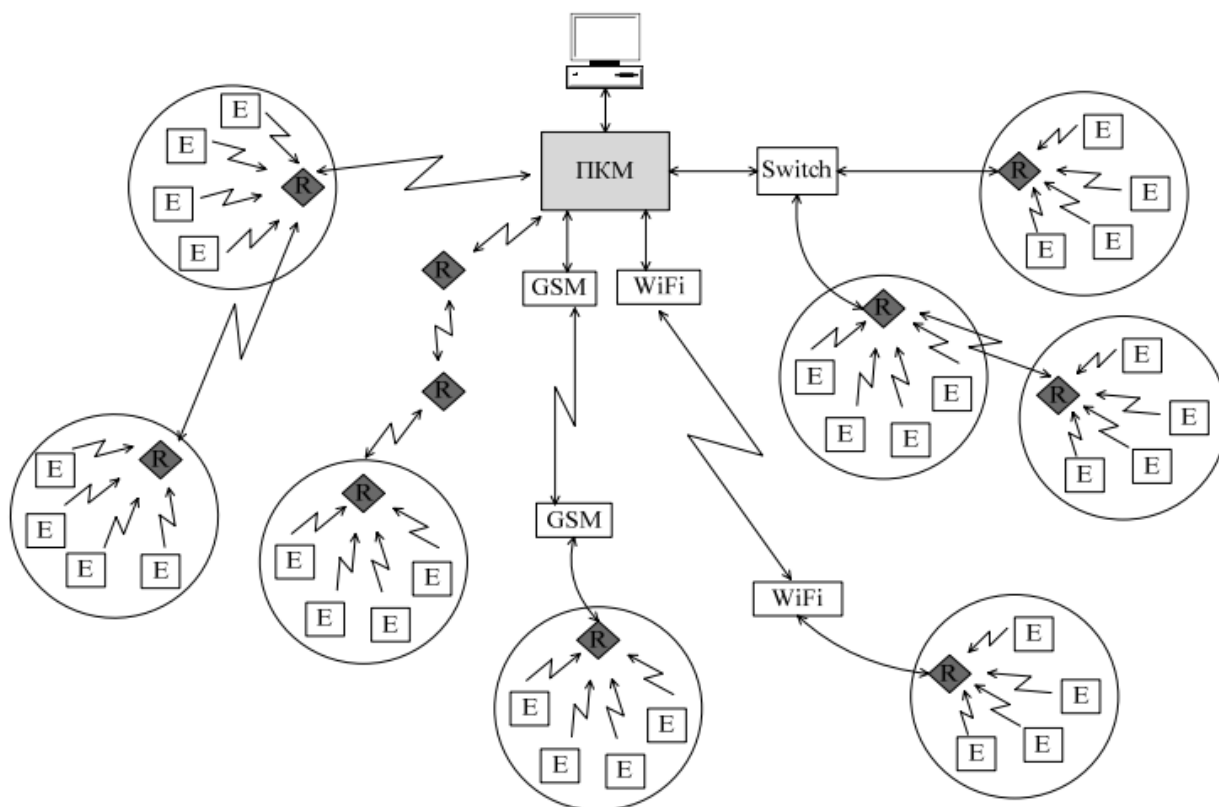


Рисунок 3.1 Структурна схема БСОПС

Для систем охоронно-пожежної сигналізації актуальною проблемою є контроль місця розташування людей на випадок пожежі, обумовлений необхідністю повної евакуації персоналу. Дана проблема досить ефективно може бути вирішена застосуванням компактних мобільних бездротових пристроїв, які б вручалися кожному співробітнику на прохідній. При переміщенні людини по підприємству, пристрій підключається до найбільш близького на даний момент роутера (розміщення роутерів заздалегідь відомо), дозволяючи достатньо точно дізнатися місце розташування людини в разі надзвичайної ситуації.

Всі існуючі на даний момент БСОПС вузько спеціалізовані і можуть бути використані тільки для виявлення пожежі, а пропонуєма система є достатньою за рахунок універсальності протоколу передачі даних і гнучкості використовуваної топології (кластерне дерево). Таким чином, система може бути адаптована для контролю вологості, температури, освітленості і будь-

яких інших фізичних параметрів приміщення в залежності від застосовуваних датчиків. Практично вона може бути однією з підсистем «Розумного будинку».

3.3 Висновки з розділу 3

В цьому пункті ми розглянули застосування безпроводних сенсорних мереж, та їх переваги. Класифікували датчики БСМ та параметри, які вони вимірюють.

Як застосування БСМ запропоновано БСОПС (бездротову систему охоронно-пожежної сигналізації) яку можливо використовувати в найрізноманітніших сферах: від моніторингу приватних будинків/квартир, до великих компаній і виробництв. В сучасних вже представлених розробках на ринку існує основний недолік – використання радіоканалу в частотному діапазоні 433 МГц. Окрім запропонованого вирішення цієї проблеми представлено можливе поєднання технологій ZigBee і GSM. Також було запропоновано використовувати компактні мобільні бездротові пристрої для моніторингу розташування людини і її подальшої евакуації в випадку надзвичайної ситуації.

4 МЕТОДИКА ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОГО ВАРІАНТУ ПОБУДОВИ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ ВІДОМЧОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Методика вибору варіанту побудови мережі відомчого призначення дозволяє шляхом перебору технологій, варіантів побудови безпроводової сенсорної мережі, розрахунку техніко-експлуатаційних характеристик здійснити вибір раціонального варіанту побудови сенсорної мережі.

Мета розробки та вибору раціонального варіанту побудови сенсорної мережі відомчого призначення полягає в забезпеченні ефективного автоматизованого управління діяльністю підрозділів пожежної частини. Під ефективністю слід розуміти – одержання найкращого результату від використання наявних ресурсів.

Основні етапи реалізації методики (рисунки 4.1):

1. Формування цілей БСМ відомчого призначення відповідних завдань
2. Визначення вихідних даних.
3. Аналіз існуючих технологій БСМ та вибір найбільш придатної технології.
4. Технологію вибрано. Процес вибору технології закінчується коли ухвалюється найбільш раціональна технологія, яка здатна виконувати завдання згідно поставлених цілей.
5. Вибір частотного діапазону.
6. Перевірена електромагнітна сумісність. Процес перевірки електромагнітної сумісності (ЕМС) закінчується, коли визначається здатність радіоелектронних засобів і випромінювальних пристроїв одночасно функціонувати з обумовленою якістю в реальних умовах експлуатації з урахуванням впливу небажаних радіозавад і не створювати неприпустимих радіозавад іншим радіоелектронним засобам.
7. Формування структури БСМ відомчого призначення.
8. Вибір способу забезпечення інформаційної безпеки в БСМ.

9. Вибір топологій використовуваних в БСМ.
10. Вибір існуючих протоколів передачі даних.
11. Розрахунок параметрів, які впливають на мінімізацію енергоресурсів.
12. Розрахунок техніко-експлуатаційних характеристик n-го варіанту побудови БСМ.
13. Розрахунок часу на побудову БСМ відомчого призначення.
14. Запис результатів n-го варіанту побудови БСМ в базу даних.
15. Усі варіанти побудови БСМ розглянуті.
16. Вибір раціонального варіанту побудови БСМ за k критерієм.
17. Вибрано раціональний варіант побудови БСМ.
18. Прийняття рішення на побудову БСМ по вибраному варіанту керівником установи.
19. Рішення на побудову БСМ по раціональному варіанту прийняте.
20. Розробка проектної документації на побудову БСМ.
21. Побудова БСМ.

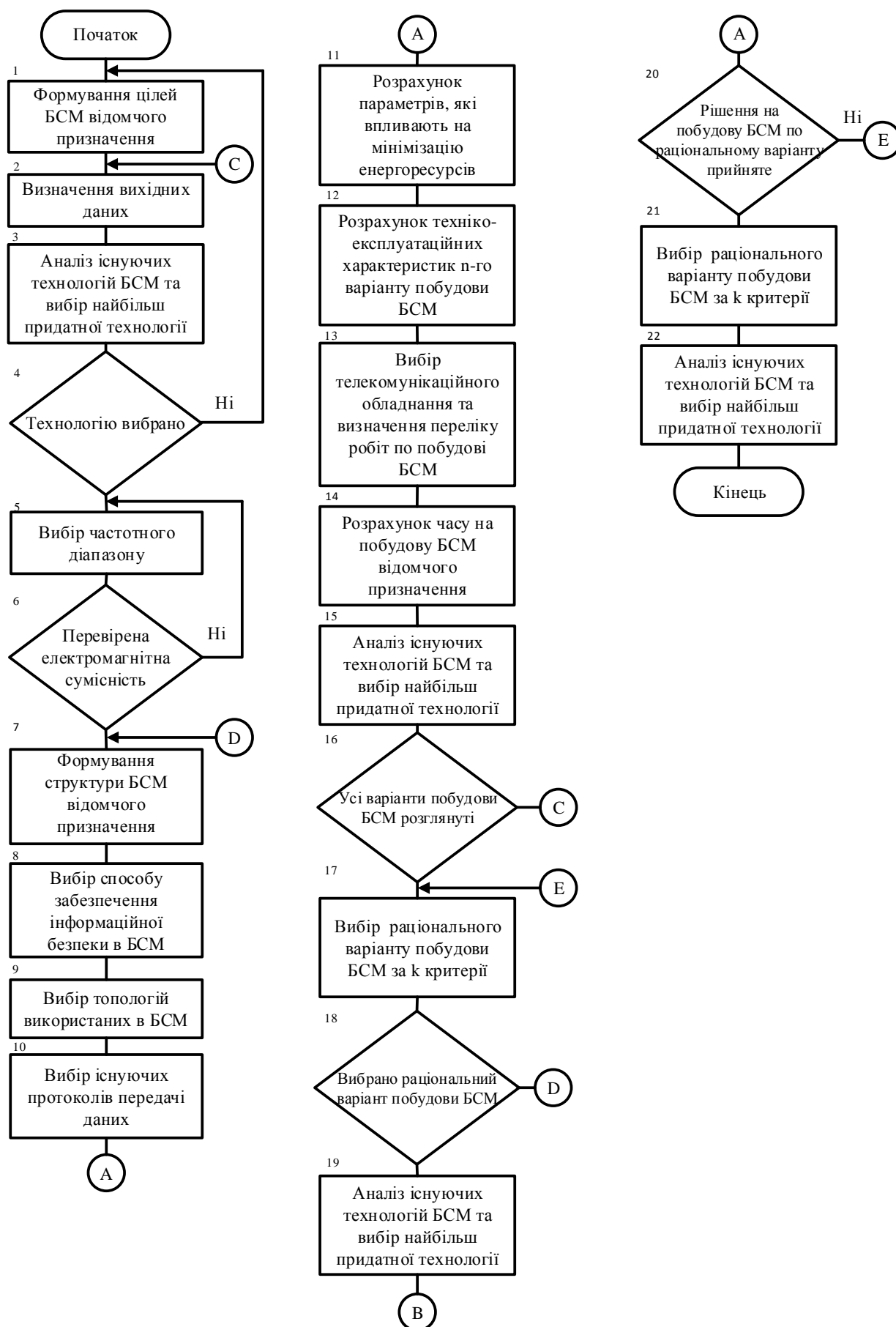


Рисунок 4.1 Алгоритм вибору раціонального варіанту побудови сенсорної мережі відомчого призначення

Ефективність застосування даної методики полягає в чіткому формуванні цілей та кроків, що допоможе переглянути можливі варіанти побудови мережі без зайвої затрати часу та коштів, а також структурні та функціональні переваги сучасних мереж управління підрозділами рятувальників.

4.1 Висновки з розділу 4

Алгоритм вибору варіанту побудови мережі відомчого призначення дозволяє шляхом перебору технологій, варіантів побудови безпроводової сенсорної мережі, розрахунку техніко-експлуатаційних характеристик здійснити вибір раціонального варіанту побудови сенсорної мережі.

Виходячи з цього, розробка методик планування сучасних безпроводових сенсорних мереж відомчого призначення і відповідних інструментальних засобів можна рахувати за важливе завдання для підрозділів рятувальників.

ВИСНОВКИ

Відповідно до технічного завдання було дано загальний огляд області, до якої належить тема дипломної роботи, проведений аналіз сенсорних мереж, розглянуто їх будову і застосування. Проведений аналіз можливостей бездротових технологій передачі: Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee, WiMax, розглянуті відомі нам протоколи маршрутизації в сенсорних мережах.

Розробка і введення сенсорних мереж в усі сфери життя надасть величезну кількість переваг людству. Тематика сенсорних бездротових мереж ще не достатньо вивчена, є на даний момент ряд невирішених проблем і обмежень, але переваги залучають компанії для розробки стандартів передачі інформації в сенсорних мережах, наприклад, стандарт передачі даних ZigBee. Наразі існує достатня кількість статей, думок і розробок, що дає можливість зібрати пазл ефективної, універсальної сенсорної мережі, яка буде окремою, незалежною технологією.

Даний вид мереж є інтелектуальним, тобто має можливість автоматичного визначення пристроїв і маршрутів їх повідомлення, що дає неймовірну базу для подальшого вивчення і впровадження у всі сфери людської діяльності. Область застосування технологій бездротових сенсорних мереж стрімко розширюється. Сенсорні датчики здатні накопичувати інформацію і управляти різними процесами і об'єктами. Вони особливо необхідні для використання в агресивних середовищах і в умовах небезпечних для людини. За допомогою сенсорних мереж можуть ефективно вирішуватися завдання контролю навколишнього середовища, спостереження за військовими об'єктами. У промисловості і в побуті їх можна використовувати для моніторингу технологічних процесів і контролю функціонування систем забезпечення життєдіяльності людини. А значення сенсорів в медичних технологіях майбутнього просто неоціненно: вони можуть забезпечувати дистанційне спостереження за диханням, температурою тіла, кров'яним тиском і іншими фізіологічними

характеристиками людини. Де б не знаходилися такі датчики, вони, в міру необхідності, об'єднуються в бездротову мережу і будуть готові передавати отриману інформацію. Наповнення навколишнього середовища гетерогенними (тобто здатними працювати в різних середовищах і взаємодіяти з різними приладами) сенсорами призведе до формування повноцінної PAN – «персональні мережі». Це означає, що всі прилади і системи, які використовуються людьми, в персональному просторі зможуть автоматично зв'язатися і взаємодіяти через шлюз з зовнішньої глобальної інформаційної середовищем.

Дані мережі при грамотній побудові та професійному аналізі, правильному встановленні та цільовому використанні внесуть величезний вклад в роботу будь-якого відомства та підприємства, а на мою думку, збільшення продуктивності того, чи іншого продукту – головна ціль XXI століття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Kasirajan, Priya, Carl Larsen, and Sarangapani Jagannathan. A new data aggregation scheme via adaptive compression for wireless sensor networks. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, 2012. – Vol. 9, No. 1, pp. 5:1-5:26.
2. Галелюка І.Б. Моделювання бездротових сенсорних мереж / І.Б. Галелюка // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2015. – № 14. – С. 141 – 150.
3. Kasirajan, Priya, Carl Larsen, and Sarangapani Jagannathan. A new data aggregation scheme via adaptive compression for wireless sensor networks. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, 2012. – Vol. 9, No. 1. – Pp. 5.1-5:26.
4. Mobile Wireless Sensor Networks Overview / J. Rezazaden, M. Moradi, A. Samad Ismail // *International Journal of Computer Communications and Networks*, 2012.
5. Кучерявый, А. Е. Самоорганизующиеся сети / А. В. Прокопьев, Е. А. Кучерявый. – СПб. : Любавич, 2011. – 312 с
6. Recommendation Y.2060. Overview of Internet of Things. ITU-T, Geneva. – February 2012.
7. Гольдштейн, Б.С. Сети связи пост – NGN / Б.С. Гольдштейн, А.Е. Кучерявый // БХВ, С.Петербург, 2013.
8. IEEE Std 802.15.1-2002, IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements.
9. IEEE Std 802.15.2-2003, IEEE Recommended Practice for Information technology— Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks— Specific requirements.
10. IEEE Std 802.15.3-2003, IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and

metropolitan area networks—Specific requirements— Part 15.3: Wireless Medium Access Control and Physical Layer Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks.

11. IEEE Std 802.11, 1999 Edition (Reaff 2003), Information technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements—Specifications.
12. IEEE Std 802.11a-1999 (Reaff 2003), Supplement to IEEE Standard for Information technology— Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks— Specific requirements.
13. IEEE Std 802.11b-1999, Supplement to IEEE Standard for Information technology— Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks— Specific requirements.
14. IEEE Std 802.11g-2004, IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements— Specifications.
15. IEEE Std 802.11i-2004, IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements.
16. IEEE Std 802.11n-2009, IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks.
17. IEEE 802.15.4. Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), 2003
18. Миночкин А.И., Романюк В.А. Маршрутизация в мобильных радиосетях – проблема и пути решения // Зв’язок. – 2006. – №7. – С. 49 – 55.
19. Романюк В.А., Жук О.В., Сова О.Я. Аналіз протоколів маршрутизації в бездротових сенсорних мережах // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ «КПІ». – 2008. – №1. – С. 73 – 85.

- 20.Ерохин С.Д., Махров С.С. Протоколы маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях: основанные на местоположении узлов и направленные на агрегацию данных // Т Com Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – №3. – С. 44 – 47.
- 21.Kulik J, Heinzelman W.R., Balakrishnan H. Negotiation-Based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks // Wireless Networks, – 2002. – V.8 – P. 169-185.
- 22.Intanagonwiwat C. Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking / C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, F. Silva // IEEE/ACM Transactions on Networking. – 2003. – V.11, №1. – P. 2-16.
- 23.Braginsky D. Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks / D. Braginsky, D. Estrin // Proceedings of the First ACM International Workshop on Sensor Networks and Applications (WSNA), October 2002. – Atlanta GA, 2002. – P. 22-31.
- 24.Нечай, О. Energyharvesting: энергия из ничего// Компьютерра электронный журнал. — URL: <http://www.computerra.ru/65628/energy-harvesting-energiya-iz-nichego/>
- 25.Kiran M., Kamal K., Nitin G. Wireless Sensor Network: A Review on Data Aggregation// International Journal of Scientific & Engineering Research – 2011. – Vol. 2, Issue 4. – p. 1–6.
- 26.Koucheryavy A. Cluster head selection for homogeneous Wireless Sensor Networks / A. Koucheryavy, A. Salim // Proceedings, International Conference on Advanced Communication Technology, 2009. ICACT 2009. Phoenix Park, Korea
- 27.Ting D., Haiping H., Yang L., Ruchuan W., Xinxing P. Research on Migration Strategy of Nobile Agent in Wireless Sensor Network//International Journal of Distri-buted Sensor Networks – 2013. – article ID 642986.
- 28.Каталог Системы безопасности. Рынок ОПС и охранной сигнализации 2009–2010 гг.: прогнозы, цифры, технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.secuteck.ru/articles2/ OPS/rynok-ops-i-ohrannoj->

- signalizacii-2009-2010-gg-prognozy-cifry-tehnologii/, свободный (дата обращения: 20.08.2011).
- 29.Пушкарев О. ZigBee-модули Maxstream – новые возможности // Новости электроники. – 2007. – Вып. 2. – С. 25–27.
 - 30.Шахнович В.В., Сучасні технології бездротового зв'язку. – М.: Техносфера, 2006. – С. 215–288.
 - 31.Сергиевский М.В., Беспроводные сенсорные сети. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.compress.ru/Article.aspx?id=17950>.
 - 32.Карабуто А. Сенсорные сети. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://offline.computerra.ru/2004/553/35459>.
 - 33.Тимченко О.В., Зелянговський М.Ю. Методи і протоколи обміну даними сенсорних мереж // Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. – Вип.46. – К.: 2008. – С. 176–183.
 - 34.Кучерявый Е.А., Принципы построения сенсоров и беспроводных сенсорных сетей / Е. А. Кучерявый, С. А. Молчан, В. В. Кондратьев // Радиосвязь. – 2006. – № 6. – С. 46–54.
 - 35.Варгаузин В.А., Сетевая технология ZigBee // ТелеМультиМедиа. 2005. № 6. – С. 29–32.
 - 36.Міночкін А.І., Романюк В.А. Перспективи побудови тактичних систем зв'язку // III Науково-технічна конференція ВІТІ. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2006. – С. 5–15.
 - 37.Побудова та моделювання сенсорних мереж на сучасних інформаційних технологіях та забезпечення їх інформаційної безпеки / С. В. Толюпа, Л. Т. Пархуць, О. М. Власов // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2011. – № 4. – С. 9–14.
 - 38.Зелянговський М.Ю., Тимченко О.В. Інтелектуальна система для бездротових спеціалізованих сенсорних та мереж персонального радіусу дії: програмно-апаратна платформа вузла бездротової мережі // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. – Вип.49. – К.: 2008. – С. 185–193.